

文章编号: 1000-0240(2002)06-0737-07

# 乌鲁木齐河源冰碛物的 ESR 测年研究

赵井东<sup>1</sup>, 周尚哲<sup>1</sup>, 崔建新<sup>1</sup>, 焦克勤<sup>2</sup>, 业渝光<sup>3</sup>, 许刘兵<sup>1</sup>

(1. 兰州大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州, 730000;  
3. 地质矿产部 海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

**摘 要:** 应用 ESR 测年技术对采自乌鲁木齐河源区上望峰、下望峰与高望峰的冰碛物进行了测年, 上望峰冰碛年代为  $(35 \pm 3.5)$  ka BP; 下望峰冰碛 3 个年代分别为  $(171.1 \pm 17)$  ka BP、 $(176 \pm 18)$  ka BP、 $(184.7 \pm 18)$  ka BP; 高望峰冰碛年代为  $(459.7 \pm 46)$  ka BP. 经对 ESR 测年结果的可靠性讨论并结合地貌地层与已有的  $^{14}\text{C}$  年代、ESR 年代数据得出: 上望峰冰碛沉积于 MIS 2 相对应的末次冰期晚期; 下望峰冰碛系两次冰川作用沉积的, 公路之上冰碛于 MIS 4 相对应的末次冰期早期沉积的, 以下老的冰碛沉积于 MIS 6 相对应的冰期; 河源区最老的冰碛高望峰冰碛形成于 MIS 12 相对应的冰期. 高望峰冰碛年代同时还表明本段天山至少于此时已经上升到与当时冰川气候相耦合的高度, 进入了冰冻圈, 开始发育冰川.

**关键词:** ESR 测年; 冰碛物; 乌鲁木齐河; 天山

**中图分类号:** P533 **文献标识码:** A

## 1 引言

电子自旋共振 (Electron Spin Resonance 缩写为 ESR) 测年是近二十多年来迅速发展起来的一种年代测定的新技术<sup>[1]</sup>. 与其他测年方法相比, ESR 测年具有测定年龄跨度比较大 (从数百年到数亿年<sup>[2]</sup>)、可测试的样品种类比较多<sup>[3~5]</sup> (各种生物化石、海洋与陆地的各类沉积物)、样品的用量相对较少 ( $< 1$  g)、测试样品的制作相对简便, 同时它还是一种非破坏性测年技术, 测试后的样品可以用于其他的理化分析. 因此, ESR 测年技术受到了地学界、古人类学界与考古学界的重视, 并得到了广泛的应用<sup>[4~6]</sup>. 自 Gr ün 提出 Ge 心具有测年的应用前景<sup>[3]</sup>, 1994 年 Schwarcz 提出了在以后的 ESR 测年中, 冰碛物是一种具有测年前景的可测沉积物<sup>[7]</sup>. 在近几年我国第四纪冰川研究中, 已有许多学者逐步将 ESR 测年技术成功地应用于冰碛物测年<sup>[8~11]</sup>, 推动了第四纪冰川研究的深入发展. 本文讨论用 ESR 技术对乌鲁木齐河流域冰碛物中的石

英颗粒进行年代测定的情况.

## 2 研究区概述

乌鲁木齐河源位于北天山中部喀拉乌成山北坡, 其地理位置坐标为  $43^{\circ} 7' \text{ N}$ ,  $86^{\circ} 49' \text{ E}$ . 河源区山脊线的高度一般介于海拔  $4\ 100 \sim 4\ 300$  m 之间, 最高峰是天格尔峰, 海拔  $4\ 486$  m. 雪线高度大约在海拔  $4\ 000 \sim 4\ 100$  m, 所以在河源区发育有现代冰川, 现代冰川的冰舌在雪线以下下伸  $300$  多米, 冰川末段为海拔  $3\ 650 \sim 3\ 700$  m. 在第四纪中, 多次冰川作用在河谷中留有数套冰碛物 (图 1). 虽有许多学者对这些冰碛进行了研究<sup>[12~19]</sup>, 但尚未达成统一的认识, 故还存在许多的争议.

上望峰冰碛与下望峰冰碛分布在罗卜道沟沟口至望峰道班周围的下槽谷中, 上望峰冰碛的末端高度在海拔  $3\ 000$  m 左右, 顶部覆有近半米厚的黄土, 黄土之上发育有灰色的土壤层. 下望峰冰碛主要分布在道班附近约  $3$  km 的下槽谷中, 下限高度约在海拔  $2\ 900$  m, 顶部覆有厚层的黄褐色的土壤

收稿日期: 2002-03-23; 修订日期: 2002-06-30

基金项目: 中国科学院天山冰川观测开放试验站基金项目; 国家自然科学基金项目 (49971080; 49731010) 资助

作者简介: 赵井东 (1976—), 男, 江苏沭阳人, 2002 年在兰州大学获硕士学位, 主要从事全球变化研究. E-mail: zhaojd76 @263.net

层. 二者的岩性较为相似, 以花岗岩、眼球状片麻岩、花岗闪长岩为主. 高望峰冰碛分布在上槽谷

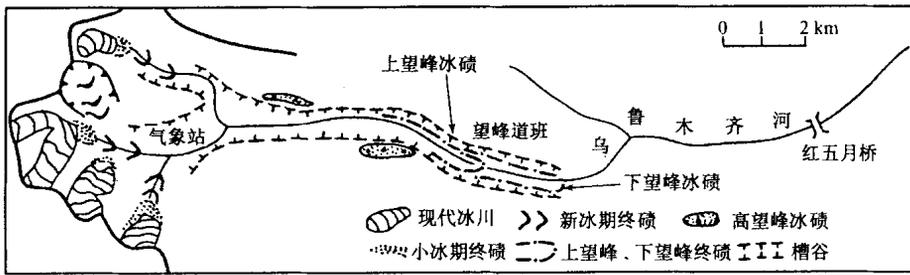


图 1 天山乌鲁木齐河谷第四纪冰川遗迹分布图

Fig. 1 The distribution of Quaternary glacial remains in the Ürümqi valley, Tianshan Mountains

中, 高度约在海拔 3 400 m. 岩性与上望峰、下望峰的岩性有相似之处, 有花岗岩、片岩、眼球状片麻岩、花岗闪长岩、辉长岩、硅质岩, 其上发育有灰褐色的土壤, 生长有草甸植被. 3 套冰碛物中都可以找到冰川作用标记——冰川擦痕石.

包在黑色的塑料袋中闭光送入实验室.

### 3 样品的制备

样品的制备是在兰州大学地理系年代学实验室中进行的. 样品的处理条件没有 TL 要求的那么严格<sup>[7]</sup>. 经对比实验表明: 在暗室条件下处理的样品与在室内自然光条件下处理的样品测试的结果是一致的(与业渝光的个人通讯). 所以此次的样品是在室内自然光条件下进行处理的.

将每个样品分成两份, 一份在 105 °C 的恒温箱中干燥, 测其含水量, 然后在玛瑙研钵中将其研磨, 过 < 0.1 mm 的筛子, 以备测环境中放射性元素(U、Th、K<sub>2</sub>O 等)的含量来测算年剂量率. 其余的样品用水冲洗并筛取 0.125 ~ 0.25 mm 的粒组. 加入 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 去除样品中的有机物, 冲洗干净后用 6mol L<sup>-1</sup> 的 HCl 浸泡. 因为冰碛物的化学风化作用比较弱, 所以浸泡时间应该比其它沉积物(河流沉积物、海洋沉积物)浸泡时间长, 一般为 7 d 以上. 这样做的目的—是去除碳酸盐; 二是去除冰碛物中一些能被 HCl 溶解的暗色矿物. 处理后的样品再用 HF 处理, 蚀去石英颗粒的表面, HF 处理的时间的长短视所选取颗粒粒径的大小而定. 这次用 HF 处理 2 h. 冲洗至中性后, 在 40 °C 恒温箱内烘干, 烘干后的样品用 WCF-2 型多用磁性分选仪在电流为 1A 和 2A 下进行两次分选, 去除磁性物质. 处理最终的样品称取 9 等份, 每份 0.25 g, 用人工的 射线源<sup>60</sup>Co 以不同的剂量进行辐照, 辐照的剂量可以通过夹在样品中的丙氨酸/ ESR 剂量计准确的测出. 辐照的剂量率为 15 ~ 45 Gy · min<sup>-1</sup>.

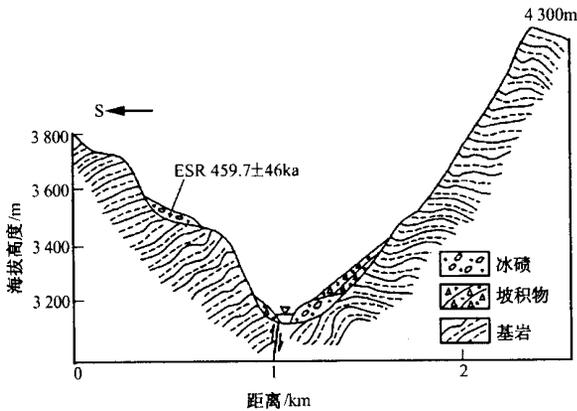


图 2 乌鲁木齐河源高望峰附近剖面图

Fig. 2 The cross section near Gaowangfeng at the head waters of Ürümqi River

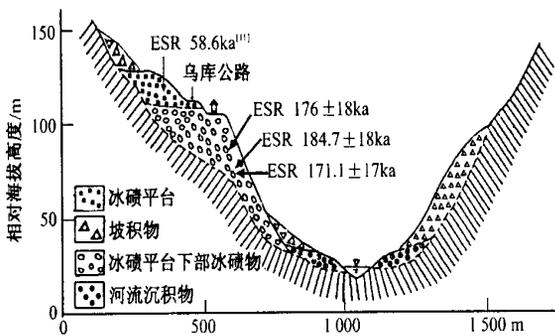


图 3 望峰道房附近下望峰剖面图及 ESR 年龄

Fig. 3 The Xiawangfeng section near the Wangfeng Maintain Squad and its ESR ages

此次测试的冰碛样品来自于上望峰、下望峰、高望峰的剖面中(图 2、3). 剥掉剖面的外层达到新鲜面后采集, 采样时避免了阳光的直接照射. 样品

### 4 测试与结果

辐照后的样品在测试之前一般用两种方法来消除样品中对测年有影响的短寿命 ESR 信号(这些短寿命 ESR 信号可能是由人工辐照产生的, 它们对

测年信号会产生一定的干扰)：一种方法是在特定的温度下对样品进行加热；另一种方法是将样品放置一段时间。此次我们选用将样品放置一段时间的方法。

由于高望峰冰碛物处于高于现代河床 150 ~ 200 m 的上槽谷中，其年龄应该为几十万年，因此，选用 Ge 心作为 ESR 的测年信号。测试是在德国 Bruker 公司 ECS106 ESR 谱仪上进行的。测试的条件是：室温、X 波段、微波功率为 2 mW，调制振幅为 0.1 mT、中心磁场为 348 mT、扫描宽度为 5 mT、转换时间为 5.12 ms、时间常数为 40.96 ms、增益  $10^5$ 。为了提高信(号)噪(音)比，每个样品在同一条件下连续测 3 次。典型的 ESR 波谱图见图 4。

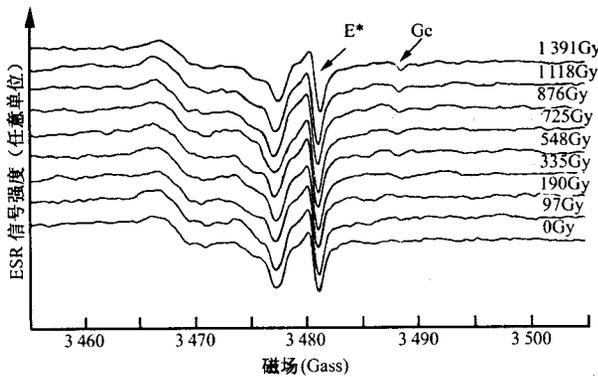


图 4 室温条件下典型的 ESR 波谱图

Fig. 4 Typical ESR spectra at the room temperature

#### 4.1 积累剂量(TD)的测定

根据人工辐照剂量与其相应的 ESR 信号强度，用最小二乘法对所测得的数据进行线性拟合并用外推法将拟合的直线外推到信号强度为零的横坐标得出积累剂量 TD。因为所测出的数据点比较分散，所以在拟合中按照辐照剂量与信号强度之间增长的

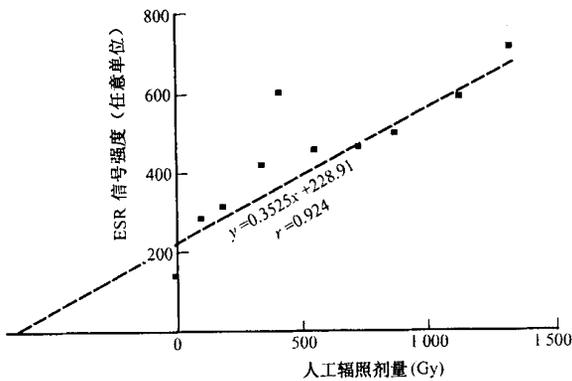


图 5 下望峰人工辐照剂量与 ESR 信号强度之间的拟合线

Fig. 5 The fit line between artificial radiation doses and ESR signal intensity in Xiawangfeng

关系选用了线性拟合。其中下望峰所测得的信号强度与人工辐照剂量拟合线如图 5 所示。

#### 4.2 年剂量率(D)的测定

放射性元素 U、Th、K<sub>2</sub>O 的含量分别用激光荧光法、比色分光光度法和原子吸收技术进行测定。年剂量率是由内部剂量与外部剂量两部分组成的，计算公式如下：

$$D = D_{ex} + D_{in}$$

$$D_{ex} = D_{ex} + D_{ex} + D_{ex} + D_{com}$$

$$D_{in} = D_{in} + D_{in} + D_{in}$$

式中： $D_{ex}$ 为外部剂量率； $D_{in}$ 为内部剂量率； $D_{ex}$ ， $D_{ex}$ ， $D_{ex}$ ， $D_{com}$ 分别为环境中放射性元素衰变过程中、 $\gamma$ 射线以及宇宙射线的贡献率； $D_{in}$ ， $D_{in}$ ， $D_{in}$ 分别为样品自身放射性元素衰变过程中、 $\alpha$ 射线的贡献率。

因为此次处理的石英样品经 X 光衍射发现其纯度达到 90 % ~ 97 %，而且石英中的放射性元素含量非常低，现有的仪器精度还无法测出，所以内部剂量不计算在内；石英表面已经用 HF 蚀去，所以在年剂量的推算中就忽略了  $\alpha$ 射线的贡献率；宇宙射线受控于经度、纬度、海拔以及样品的埋藏深度，而此次的样品是从距顶面有数米的剖面中采集的，所以宇宙射线的贡献率在计算中也忽略不计。另外，冰碛物是一种较为特殊的沉积物，大小混杂，分选性极差，空隙度很大，对于短半衰期的放射性气体(如：氦气)可以很快的逃逸出去，其逃逸系数可以达到 1，在计算年剂量的时候无须考虑它们。因此，年剂量公式就简化为：

$$D = D_{ex} + D_{ex}$$

所测出的 U、Th、K<sub>2</sub>O 的含量以及计算的参数见表 1。

表 1 ESR 测年的结果与计算中的相关参数

Table 1 The results of ESR dating and the correlated parameters

样品	含水量 / %	U / ( $10^{-6}$ )	Th / ( $10^{-6}$ )	K <sub>2</sub> O / %	TD / Gy	年龄/ ka
上望峰 <sup>1)</sup>	5.01	2.07	12.2	3.03	140.5	35 ±3.5
下望峰 <sup>1)</sup>	4.73	2.18	10.3	2.77	649.4	176 ±18
下望峰 <sup>2)</sup>	1.9	2.58	12.9	2.58	727.6	184.7 ±18
下望峰 <sup>3)</sup>	7.83	2.45	13.6	2.91	682.6	171.1 ±17
高望峰 <sup>1)</sup>	7.79	1.99	13.3	3.2	1884.8	459.7 ±46

注：1) ESR 年龄；2) ESR 年龄；3) ESR 年龄分别是 2000 年 3 月、2001 年 3 月、2002 年 3 月在地质矿产部青岛海洋地质研究所测得的。

## 5 讨论与结论

### 5.1 Ge 测年的可靠性

ESR 测年的一个重要的前提是：自然界中的矿物受到地球的各种运动(地震、断层活动)所产生的剪切压力、机械碰撞(泥石流<sup>[20]</sup>)、太阳的日晒、受热(地热、热喷泉、火山喷发)后，某些 ESR 信号回零，这是 ESR 测年的零点。计时从沉积物沉积的时候开始。对于冰碛物而言，根据冰川运动理论<sup>[21]</sup>，各种风化岩屑从进入冰川并随之一起运动到最后堆积，其间冰碛有接受阳光照射的机会，阳光可以晒退全部或是部分 ESR 信号。另外，冰川中细的冰碛有部分系冰川在搬运过程中冰内磨蚀与压碎等机械过程形成的，虽然这个过程比泥石流下泻过程缓和，但其过程较长。所以，冰内磨蚀与压碎等机械过程也可以使部分 ESR 信号回零。因此，可以选择光效应比较灵敏的 ESR 信号或是经过磨蚀与压碎等机械过程可以去除的 ESR 信号来进行测年。

以往学者的研究表明：Ge 心对光照的响应是灵敏的。Buhay *et al.* 研究断层泥里石英颗粒中的 Ge 心时发现，Ge 心在紫外光或是阳光的日晒下，数小时就可以回零<sup>[22]</sup>。业渝光等在研究海岸风成沙中的 Ge 心的光效应时也发现，阳光可以在 1 h 内将 Ge 心完全的晒退<sup>[23]</sup>。遗憾的是，没有有关冰碛物中石英中 Ge 心光效应的报道，根据量子理论研究，Ge 心的光吸收带为  $4.43\text{eV}^{[23, 24]}$ ，即波长为 280 nm 的紫外光。海拔越高，到达地面的紫外光线的强度越大，所以，从理论上来说紫外光线可以将其晒退。人工研磨实验表明，经过研磨也可以使石英颗粒中的 Ge 心信号减少<sup>[20]</sup>。因此，冰碛物里石英中的 Ge 心满足信号回零的测年要求，可以作为测年信号。

### 5.2 年龄可靠性的讨论

首先，从 3 套冰碛物在河谷中的沉积分布与风化固结程度来看，上望峰与下望峰冰碛物都分布在下槽谷中，在沉积上不存在明显的接触，但上望峰冰碛物较为松散，固结程度是这 3 套冰碛中最小的。故推知上望峰冰碛为 3 套冰碛中最年轻的。下望峰冰碛分布在上望峰之下河谷中，据李世杰研究，下望峰冰碛物来自南侧支沟的琼萨尔萨依谷<sup>[19]</sup>。根据现有的地貌，我们认为，将下望峰冰碛来源视为来自南侧支沟的琼萨尔萨依谷值得商榷。从野外考察得知，道班房下低的位置上的堆积物也是冰川作用形成的，并非是河流作用沉积而成的，

因为在沉积物中发现有冰川作用的标志——冰川擦痕石。低位置上的冰碛固结程度明显比现在公路之上的冰碛平台的冰碛高。据此，我们推测在道班房附近被冰碛平台覆盖的低位置上的冰碛为较老一次冰川作用的产物。将冰碛物归结是来自沟谷的，这与现在的地貌形态、深海氧同位素所记录的气候变化结合的更好，更容易被接受。高望峰冰碛物在沉积上与上望峰、下望峰冰碛物没有接触关系，它分布在高出现代河床 150~200 m 的上槽谷，上槽谷和与之相当的普遍存在于主谷与支谷中的谷肩表明：上槽谷代表一次更老的冰川作用，从其残留下来的槽谷看，也许是河源区最大的一次冰川作用。此次所测出的 3 套冰碛的年龄从老到新，没有出现年龄颠倒的情况，这与野外考察推测的新老关系相一致。

其次，上望峰的 ESR 年代与现有的<sup>14</sup>C(14 920 ±750 a BP<sup>[14]</sup>; 19 000~23 000 aBP)<sup>1</sup>年代相比偏老，笔者认为，ESR 年代偏老固然与测年技术自身各种可能因素有关，但与采样的具体位置关系更大，按照冰碛物沉积理论，冰碛物是从冰川中逐渐析出堆积而成的，在同一次冰期中，先析出堆积的冰碛物所测出的年龄理论上来说应该比后析出的冰碛物的年龄老，这是 ESR 年代与<sup>14</sup>C 年代差距产生原因之一，也是现有<sup>14</sup>C 年代之间差别的原因。另外，根据最新研究表明，MIS 3b 的气候是以冷湿为特征的<sup>[25]</sup>。丰富的降水加上比较低的气温，故该阶段也是冰川的发育期。笔者认为在上望峰冰碛中可能存在有该阶段形成的冰碛。易朝路在上望峰冰碛中的一个年代是 37.4 ka BP<sup>[11]</sup>，该年代与我们的测年结果是一致的。当然还与地质时期样品所在环境中的含水量、放射性元素的渗入与渗出等因素有关。这些应该是以后 ESR 测年理论研究的一个方面。

第三，能够指示大陆冰量变化的深海氧同位素可为陆地上冰川研究树立了一个对照标尺<sup>[26]</sup>。现有的<sup>14</sup>C 年龄已经将上望峰冰碛归为末次冰期晚期，即对应于 MIS 2 冰川作用堆积而成的<sup>[14, 18]</sup>。但我们测试的年龄与易朝路测试的年龄对应于 MIS 3，而且非常接近以冷湿为主要气候特征的 MIS 3b。据此推断在上望峰冰碛中也可能存在 MIS 3b 冰进所产生的冰碛。据此认为上望峰的冰碛物形成于 MIS 2，中间也存在 MIS 3b 冰进所产生的冰碛。下望峰与高望峰的 ESR 年龄可信的依据如下，下望峰：1) 3 次在其剖面中采集的样品测出的

年龄在容许的误差范围内是一致的; 2) 其中对于下望峰冰碛形成年代的争议最大, 王靖泰推测该套冰碛形成于 MIS 6<sup>[14]</sup>, 李世杰认为它系末次冰期晚期的产物<sup>[19]</sup>, 易朝路测定乌库公路之上冰碛平台的 ESR 年代为 58.6 ka BP, 他将该冰碛归为末次冰期早期, 即沉积于 MIS 4<sup>[11]</sup>. 不过, 从深海氧同位素记录的气候波动序列来看, 从全球范围看, MIS 6 相对应的冰川作用比 MIS 4、MIS 3b、MIS 2 的冰川作用要大. 所以, 后期数次冰川作用没有将道班房附近, 公路之下老的冰碛完全破坏掉, 只是将其覆盖或是在部分地段切穿它. 这也是为什么该处老的冰碛在较低剖面被发现的原因. 另外, 后峡宽谷段二营附近的二级阶地 ESR 测年结果是 (125.6 ± 13 ka BP, 在后峡工厂附近的二级阶地上覆的黄土底部 TL 年代为 (90.0 ± 7.5) ka BP; 在出山口段第三级阶地的年龄为 (114.4 ± 11) ka BP, 这两处的阶地是同时形成的<sup>[27]</sup>. 符合河流上下游阶地发育的规律, 它们的形成可能与下望峰冰碛有一定的联系. 因此, 望峰道班附近公路以下稍低位置上的冰碛沉积于 MIS 6 是可信的. 高望峰: 该套冰碛的 ESR 年代可与 MIS 12 相对应, 笔者认为该年代也是可信的, 理由有二: 一是 2000 年易朝露在高望峰冰碛中采集了一个样品, 测试的 ESR 年代为 477.1 ka BP, 我们此次测出的年代为 (459.7 ± 46) ka BP<sup>[28]</sup>, 两个样品来自同一个剖面, 测试的年龄是一致的; 二是根据下槽谷与现在基岩河床之间的高度差推出的大致侵蚀速率, 在望峰一带, 河床下切 3 ~ 5 m, 最保守的算法是末次冰期在 10 ka BP 前结束时才开始下切, 按此侵蚀速率, 将 150 ~ 200 m 高的上槽谷下切到现在的高度需要至少 400 ~ 500 ka BP 的时间. 因此, 高望峰的年龄是可信的.

基于测试的年代数据并结合其它测年结果, 乌鲁木齐河源区冰川演化序列为: 上望峰冰碛形成于 MIS 2、中间可能存在 MIS 3b 冰进沉积的冰碛; 下望峰, 道班房附近公路之上冰碛平台是末次冰期早期沉积的, 公路下较低位置上的冰碛沉积于 MIS 6 对应的冰川作用. 高望峰冰碛沉积于 MIS 12 对应的冰川作用. 是否在河源区南坡存在更老冰期沉积的冰碛, 尚需进一步的研究.

致谢: 中国科学院天山冰川站的工作人员在野外工作中的支持与帮助; 地质矿产部青岛海洋地质研究所高级工程师刁少波对样品的测试与讨论; 地质矿产部青岛海洋地质研究所所在实验测试期间给予的支持与帮助, 在此一并致谢.

## 参考文献(References):

- [1] Ikeya M. Dating a stalactite by electron paramagnetic resonance [J]. *Nature*, 1975, **255**: 48 - 50.
- [2] Gr ũ R. ESR dating for the early earth [J]. *Nature*, 1989, **338**: 543 - 544.
- [3] Gr ũ R. Potential and problems of ESR dating [J]. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 1991, **18**: 143 - 153.
- [4] Hennig G J, Gr ũ R. ESR dating in Quaternary geology [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1983, **2**: 157 - 238.
- [5] Rick W J. Electron Spin Resonance (ESR) dating and ESR applications in Quaternary science and archaeometry [J]. *Radiation Measurements*, 1997, **27**: 975 - 1 025.
- [6] Ikeya M. New Applications of Electron Spin Resonance - Dating, Dosimetry and Microscopy [M]. Singapore: World Scientific, 1993.
- [7] Schwarcz H P. Current challenges to ESR dating [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1994, **13**: 601 - 605.
- [8] Kuang Mingsheng, Li Jijun, Zhao Yu, *et al.* A study on the Quaternary glacial relics in the Gongwang Mountains in the Northeast Part of Yunnan Province [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1997, **19**(4): 366 - 372. [况明生, 李吉均, 赵瑜, 等. 云南东北部拱王山第四纪冰川遗迹研究[J]. *冰川冻土*, 1997, **19**(4): 366 - 372.]
- [9] Wu Yongqiu, Cui Zhijiu, Liu Gengnian, *et al.* Glaciation sequences in the Kunlunshan Pass area [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, **21**(1): 71 - 76. [伍永秋, 崔之久, 刘耕年, 等. 昆仑山垭口地区的冰期系列[J]. *冰川冻土*, 1999, **21**(1): 71 - 76.]
- [10] Shi Zhengtao, Zhang Shiqiang, Zhou Shangzhe, *et al.* Study of ESR dating of Quaternary moraine, Qilian Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(4): 353 - 357. [史正涛, 张世强, 周尚哲, 等. 祁连山第四纪冰碛物的 ESR 测年研究[J]. *冰川冻土*, 2000, **22**(4): 353 - 357.]
- [11] Yi Chaolu, Jiao Keqing, Liu Kexin, *et al.* ESR Dating on tills and the Last Glaciations at the Source Area of the Urumqi River, Tianshan Mountains, China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, **23**(4): 389 - 393. [易朝路, 焦克勤, 刘克新, 等. 冰碛物 ESR 测年与天山乌鲁木齐河源末次冰期系列[J]. *冰川冻土*, 2001, **23**(4): 389 - 393.]
- [12] Glaciers and Permafrost Section of the Geography Institute, CAS. The Study of Glaciers and Hydrology in the ř ũnqi River, Tianshan Mountains [M]. Beijing: Science Press, 1965. 83 - 87. [中国科学院地理研究所冰川冻土研究室. 天山乌鲁木齐河源冰川与水文研究[M]. 北京: 科学出版社, 1965. 83 - 87.]
- [13] Yang Huairan, Qiu Shuzhang. Quaternary glaciation and the post-glacial climatic fluctuations in the region of upper ř ũnqi valley, Sinkiang [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1965, **31**(3): 194 - 211. [杨怀仁, 邱淑彰. 乌鲁木齐河上游第四纪冰川与冰后期气候波动[J]. *地理学报*, 1965, **31**(3): 194 - 211.]
- [14] Wang Jingtai. Ancient glaciers at the head of ř ũnqi River, Tianshan [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1981, **3**(Special Issue): 55 - 63. [王靖泰. 天山乌鲁木齐河源的古冰川[J]. *冰川冻土*, 1981, **3**(增刊): 55 - 63.]
- [15] Ma Qihua. Features of Wangfeng glacial moraine at the headwater of ř ũnqi River in Tianshan [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1984, **6**(2): 61 - 67. [马秋华. 天山乌鲁木齐河

- 源地区望峰冰碛的结构特征[J]. 冰川冻土, 1984, 6(2) : 61 - 67. ]
- [16] Feng Zhaodong, Qin Dahe. Glacial environment and sedimentary processes of end moraine since Last Ice - Age at the headwater of the 尕斯库勒 River, Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1984, 6 (3) : 39 - 49. [冯兆东, 秦大河. 天山乌鲁木齐河源末次冰期以来终碛的沉积类型和沉积过程[J]. 冰川冻土, 1984, 6 (3) : 39 - 49. ]
- [17] Qin Dahe, Feng Zhaodong, Li Jijun. Discussion on the fluctuation and environment since main Wurm Glaciation in the headwater of 尕斯库勒 River, Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1984, 6(3) : 51 - 62. [秦大河, 冯兆东, 李吉均. 天山乌鲁木齐河源地区玉木冰期以来冰川变化和发育环境的研究[J]. 冰川冻土, 1984, 6(3) : 51 - 62. ]
- [18] Yi Chaolu, Liu Kexing, Cui Zhijiu. AMS dating on glacial tills at the source area of the 尕斯库勒 River in the Tianshan Mountains and its implications [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (20) : 1 749 - 1 751.
- [19] Li Shijie. Ancient environment reconstruction in the late Pleistocene at the head of 尕斯库勒 Valley, Tianshan [A]. Geomorphology - Environment - Development [M]. Beijing: Environmental Science Press of China, 1995. 14 - 18. [李世杰. 天山乌鲁木齐河源晚更新世晚期古环境重建[A]. 地貌、环境、发展[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 14 - 18. ]
- [20] Ye Yuguang, Diao Shaobo, He Jie, *et al.* ESR dating studies of Paleo - debris - flows deposition Dongchuan, Yunnan Province, China [J]. Quaternary Geochronology, 1998, 17: 1 073 - 1 076
- [21] Li Jijun, Zheng Benxing, Yang Xijin, *et al.* Glacier in Xizang [M]. Beijing: Science press, 1986. [李吉均, 郑本兴, 杨锡金, 等. 西藏冰川 [M]. 北京: 科学出版社, 1986. ]
- [22] Buhay W M, Schwarcz H P, Gr ün R. ESR dating of fault gouge: The effect of grain size [J]. Quaternary Science Reviews, 1988, 7: 515 - 522.
- [23] Ye Yuguang, He Jie, Diao Shaobo, *et al.* ESR dating of the coastal wind sand of late Pleistocene [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1993, 13(3) : 85 - 89. [业渝光, 和杰, 刁少波, 等. 晚更新世海岸风成沙 ESR 年龄的研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1993, 13(3) : 85 - 89. ]
- [24] Jin Sizhao, Deng Zhong, Huang Peihua. Effect of light irradiation on E' center measurement of quartz in loess [J]. Chinese Science Bulletin, 1991. 36(10) : 741 - 744. [金嗣铭, 邓中, 黄培华. 黄土石英 E'<sup>0</sup> 中心光效应研究[J]. 科学通报, 1991. 36(10) : 741 - 744. ]
- [25] Shi Yafeng, Yao Tandong. MIS 3b (54 ~ 44 ka BP) cold period and glacial advance in middle and low latitudes [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 21(1) : 1 - 9. [施雅风, 姚檀栋. 中低纬度 MIS 3b(54 ~ 44ka BP) 冷期与冰川前进[J]. 冰川冻土, 2002, 21(1) : 1 - 9. ]
- [26] Zhou Shangzhe, Li Jijun, Li Shijie. New understanding of Pleistocene glaciers in Qinghai - Tibet plateau [A]. Quaternary Glacier and Environment Research in West China [C]. Beijing: Science Press, 1991. 67 - 74. [周尚哲, 李吉均, 李世杰. 青藏高原更新世冰川再认识[A]. 中国西部第四纪冰川与环境[C], 北京: 科学出版社, 1991. 67 - 74. ]
- [27] Zhou Shangzhe, Jiao Keqin, Zhao Jingdong, *et al.* The geomorphology of the 尕斯库勒 River Valley and the uplift of the Tianshan Mountains in Quaternary [J]. Science in China (Series D), 2002, 32: 157 - 162. [周尚哲, 焦克勤, 赵井东, 等. 乌鲁木齐河谷地貌演化与天山第四纪抬升研究[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(2) : 157 - 162. ]
- [28] Zhou Shangzhe, Yi Chaolu, Shi Yafeng, *et al.* Study on the ice age MIS12 in Western China [J]. Journal of Geomechanics, 2001, 7(4) : 321 - 327. [周尚哲, 易朝路, 施雅风. 中国西部 MIS12 冰期研究 [J]. 地质力学学报, 2001, 7(4) : 321 - 327. ]

## ESR Dating of Glacial Tills at the Headwaters of the $\text{Ur} \ddot{u}$ mqi River in the Tianshan Mountains

ZHAO Jing-dong<sup>1</sup>, ZHOU Shang-zhe<sup>1</sup>, CUI Jian-xin<sup>1</sup>,  
JIAO Ke-qin<sup>2</sup>, YE Yu-guang<sup>3</sup>, XU Liu-bing<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China; 3. Institute of Marine Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources, Qingdao Shandong 266071, China)

**Abstract:** The tills of Shangwangfeng, Xiawangfeng and Gaowangfeng at the headwaters of the Urumqi River were deposited in the Pleistocene. Although many scholars have studied them, there are still controversies over them, especially the ages of the Xiawangfeng till so far. This restricts the further study of the Quaternary Glaciations. In the past two decades, ESR as a new dating determination technique developed rapidly, and this technique could be used to date glacial tills. The studies of the scholars in the past have shown that the Ge center in the quartz is sensitive to the sunlight and grind may bleach it. So the Ge center was chosen as ESR dating signal. Shangwangfeng, Xiawangfeng and Gaowangfeng tills were determined with this technique. The determining shows that the age of Shangwangfeng till was  $(35 \pm 3.5)$  ka BP, the age of Xiawangfeng till have three

ESR values, i. e.,  $(176 \pm 18)$  ka BP,  $(171.1 \pm 17)$  ka BP, and  $(184.7 \pm 18)$  ka BP, respectively, and the age of Gaowangfeng was  $(459.7 \pm 46)$  ka BP. Associated with the available  $^{14}\text{C}$  and ESR ages and the law of geomorphology, the following conclusions could be drawn: The Shangwangfeng till was formed in MIS 2, maybe it included the till deposited by glacier advancing in MIS 3b. The upper part of the Xiawangfeng till was deposited in MIS 4 and the lower part of it was deposited in MIS 6. According to the distribution of it and the erosion rate of the river, it is believed that the Gaowangfeng till is the oldest at the headwaters of the  $\text{Ur} \ddot{u}$ mqi River, corresponding to MIS 12. The result demonstrates that this segment of the Tianshan Mountains entered the cryosphere around this time and then glaciers began to develop.

**Key words:** ESR dating; glacial till;  $\text{Ur} \ddot{u}$ mqi River; Tianshan Mountains