

文章编号：1006-6616 (2001) 04-0321-07

# 中国西部 MIS<sub>12</sub>冰期研究

周尚哲<sup>1</sup>，易朝路<sup>2</sup>，施雅风<sup>3</sup>，业渝光<sup>4</sup>

- (1. 兰州大学地理科学系，兰州 730000；2. 中国科学院武汉测量与地球物理所，武汉 430077；  
3. 中国科学院寒区和旱区环境与工程所，兰州 730000；  
4. 地质矿产部青岛海洋地质研究所，青岛 266071.)

**摘要：**祁连山摆浪河上游和天山乌鲁木齐河源是现代冰川和第四纪冰川活动的地方。我们运用 ESR 技术对第四纪冰碛进行测年研究，摆浪河上游最老的中梁赣冰碛为 462.9ka BP；乌鲁木齐河源最老的上槽谷高望峰冰碛为 477.1ka BP 和 459.7ka BP，从而确认了中国西部山地冰川对全球化深海氧同位素 12 阶段 (MIS<sub>12</sub>) 冰期的响应。

**关键词：**中国西部；MIS<sub>12</sub>冰期

中图分类号：P512.4<sup>+</sup>2 文献标识码：A

自 20 世纪 60 年代至今，中国学者在青藏高原及其毗邻地区发现了 3~4 次第四纪冰川作用，给予了许多相应的地方性冰期名称。这些冰期的建立最初参考 W. 彭克的阿尔卑斯经典的冰期模式，后来则更多地与深海氧同位素曲线相对比。近年来各种尺度的冰碛测年技术有所突破，特别是电子自旋共振 (Electron spin resonance—ESR) 技术被应用于测试较老的冰碛，取得了较好的结果。我们在祁连山摆浪河上游和天山乌鲁木齐河源进行第四纪冰川研究和 ESR 测年，两地一致地确定了氧同位素 12 阶段冰期的存在，这在第四纪冰期和中国环境变化研究中有重要的意义。

## 1 冰碛 ESR 测年

ESR 测年技术目前被应用于第四纪地质和考古方面，基本原理是：天然放射性元素 (U, Th, K) 自然衰变时产生的射线 ( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ) 在结晶固体中造成晶格缺陷，价电子被激发，形成自由电子，晶格缺陷因俘获或失去电子而形成电子心或空穴心。这些电子心或空穴心都是顺磁性的，称为顺磁中心。顺磁中心的数量随时间呈线性增加，直到达到饱和为止。结晶矿物石英能够很好地记录这些顺磁中心。ESR 测年就是用 ESR 谱仪测定样品顺磁中心数量，同时用激光荧光法，比色分光光度法和原子吸收技术测得样品中 U, Th, K 含量，再根据 Bell 公式求出年剂量率，由此即可得到沉积物年龄。

收稿日期：2001-09-04

基金项目：国家自然科学基金重点项目 (49731010)，中国科学院天山冰川站基金项目 (9905 和 9901)

作者简介：周尚哲 (1952—)，男，教授，从事自然地理学的教学与研究。

ESR 测年的一个重要根据是,自然界中的矿物如经受剧烈的运动、碰撞、受热,太阳照射(只需一小时)都可以使 ESR 信号回零<sup>[1-4]</sup>。换言之,只要沉积物被埋藏后不受上述干扰,即开始 ESR 信号的持续累积过程。冰碛物在脱离冰介质沉积下来时,即结束运动和暴光的过程,完全满足 ESR 测年技术所要求的条件。

## 2 祁连山摆浪河中梁赣冰碛

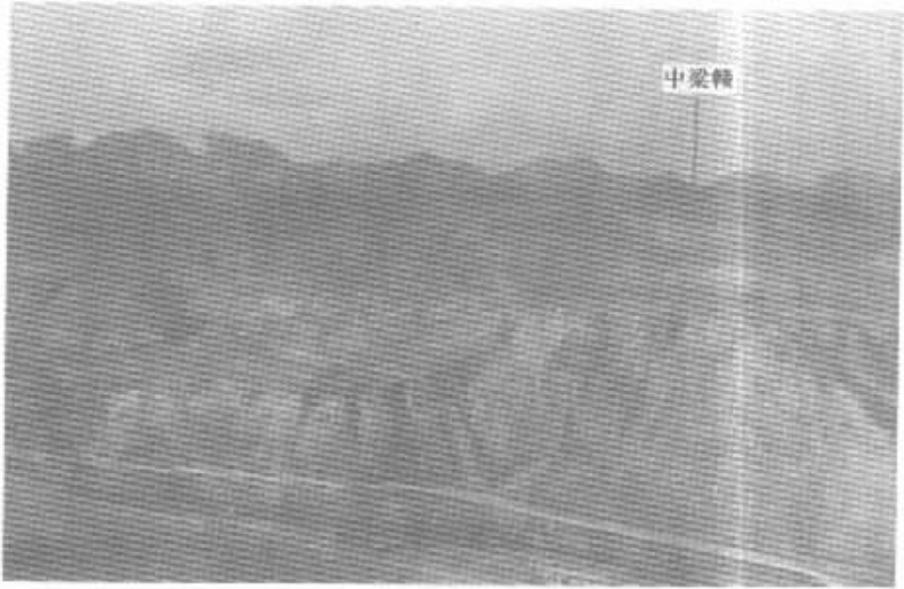
摆浪河是黑河的支流,发源于甘肃省祁连山脉中段北面的走廊南山。流域地理位置为 38°52' ~ 39°10'N, 99°15' ~ 99°28'E。本段走廊南山最高峰为 5121m,主山脊普遍起伏于 5000m 上下。山上发育现代山谷冰川 23 条,面积均不到 2km<sup>2</sup>,现代雪线 4500m。但第四纪冰期时,冰川却有大规模的扩张,根据冰川堆积,我们清楚地恢复了本区完整的古冰川序列和各次冰川的作用范围(图 1)。走廊南山北麓为大断层所控制,显示中更新世以来强烈隆升,故而摆浪河近源的第四纪冰川堆积区地形陡峻,山内槽谷堆积有小冰期和新冰期的冰碛垄。末次冰期两个阶段和倒数第二次冰期的冰碛呈扇状依次叠加堆积于 U 型谷之外。由于流水一直在冰碛扇的东侧流动,因而冰碛扇主体未受切割破坏,形态完好。倒数第二次冰期冰碛的下游方尚有一高耸的山梁,名为中梁赣(图 2),海拔 2996m,高出现代河床 500m,顶部为冰川漂砾和冰碛所覆盖。岩性为单一的走廊南山山脊侏罗系粗砾岩,出露的漂砾直径多达 1m ~ 2m,表面显示一定程度的风化,但其间所充填的冰碛细粒物质却风化成棕红色,含较多粘土。此即为目前所发现的摆浪河流域最老的冰川堆积<sup>[5]</sup>。

## 3 天山乌鲁木齐河源高望峰冰碛

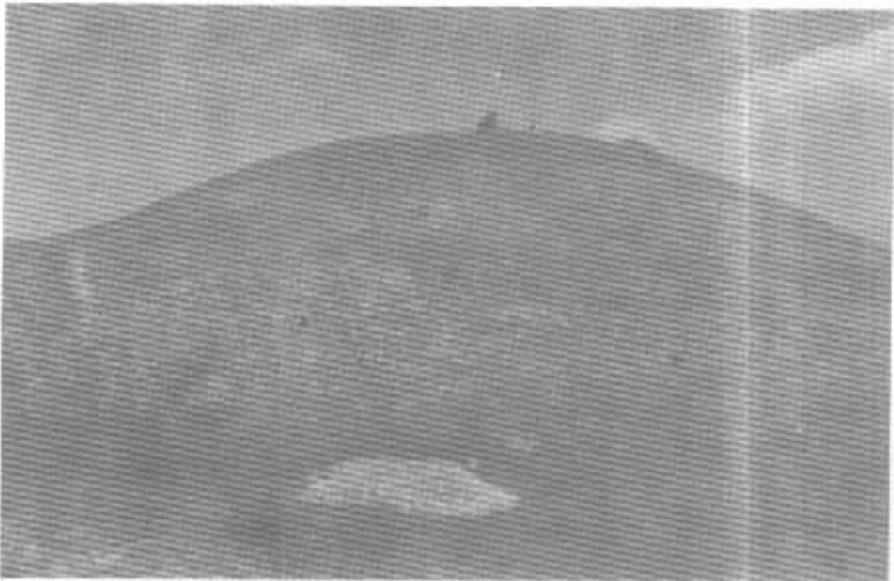
乌鲁木齐河位于北天山中部,源头最高峰天格尔 II 峰海拔 4476m (43°05'N, 86°50'E)。全流域有现代冰川 150 条,总面积 46km<sup>2</sup>,现代雪线高 4050m。乌鲁木齐河源的第四纪冰川遗迹主要分布于红五月桥以上主谷中。通过<sup>14</sup>C 和地衣等测年手段已经确认,1 号冰川前至望峰道班之间分布的冰碛依次形成于小冰期、新冰期、末次盛冰期和末次冰期早期阶段(或倒数第二次冰期)<sup>[6,7]</sup>,后者是以叠加的方式堆积于望峰道班附近,故而被称为上望峰和下望峰冰碛。上望峰和下望峰冰碛分布于下槽谷,而在望峰道班一带河谷的两侧,还保留着高出现代河床 200m ~ 300m,海拔 3400m ~ 3500m 的另一个槽谷的残余部分,被称为上槽谷。上槽谷中尚有残留的冰碛物,冰碛石多呈次棱角状和棱角状,相对于下望峰组和上望峰冰碛物,细颗粒含量要高一些。高望峰冰碛显然代表了一次古老的冰期,被称为“高望峰冰期”(图 3)。根据其所处地貌部位,高望峰冰期是乌鲁木齐河流域截至目前发现的有据可查的最早的一次冰期,但这次冰期究竟发生在什么时候,也一直是个悬而未决的问题。

## 4 样品采集、制备和测试

野外采样要避免阳光直射,挖至 1.2m 深取样。样品用黑色塑料袋加层包装,避光送入实验室。样品在实验室分为两份,一份用水淘洗,过筛,获得 0.06 ~ 0.25mm 粒级的颗粒,用双氧水除去有机质,用 6mol 浓度的盐酸溶解碳酸盐,用氢氟酸浸泡 1h 后除去长石和石英颗粒表层,然后用清水彻底清洗,获得纯度达 90% 以上的石英颗粒。最后再用磁选仪分离



A



B

图 1 祁连山摆浪河上游第四纪冰碛分布平面图 A 和纵断面图 B  
Fig.1 Plan ( A ) and longitude profile ( B ) of Quaternary glacial deposits  
at the upper reaches of Bailang River , Qilian Shan  
1. 现代冰川 ; 2. 小冰期冰碛 ; 3. 主阶地 ( T<sub>5</sub> ) ; 4. 河流 ; 5. MIS<sub>6</sub> 冰碛  
6. 新冰期冰碛 ; 7. MIS<sub>2</sub> 冰碛 ; 8. MIS<sub>4</sub> 冰碛 ; 9. 最高阶地 ; 10. MIS<sub>12</sub> 冰碛

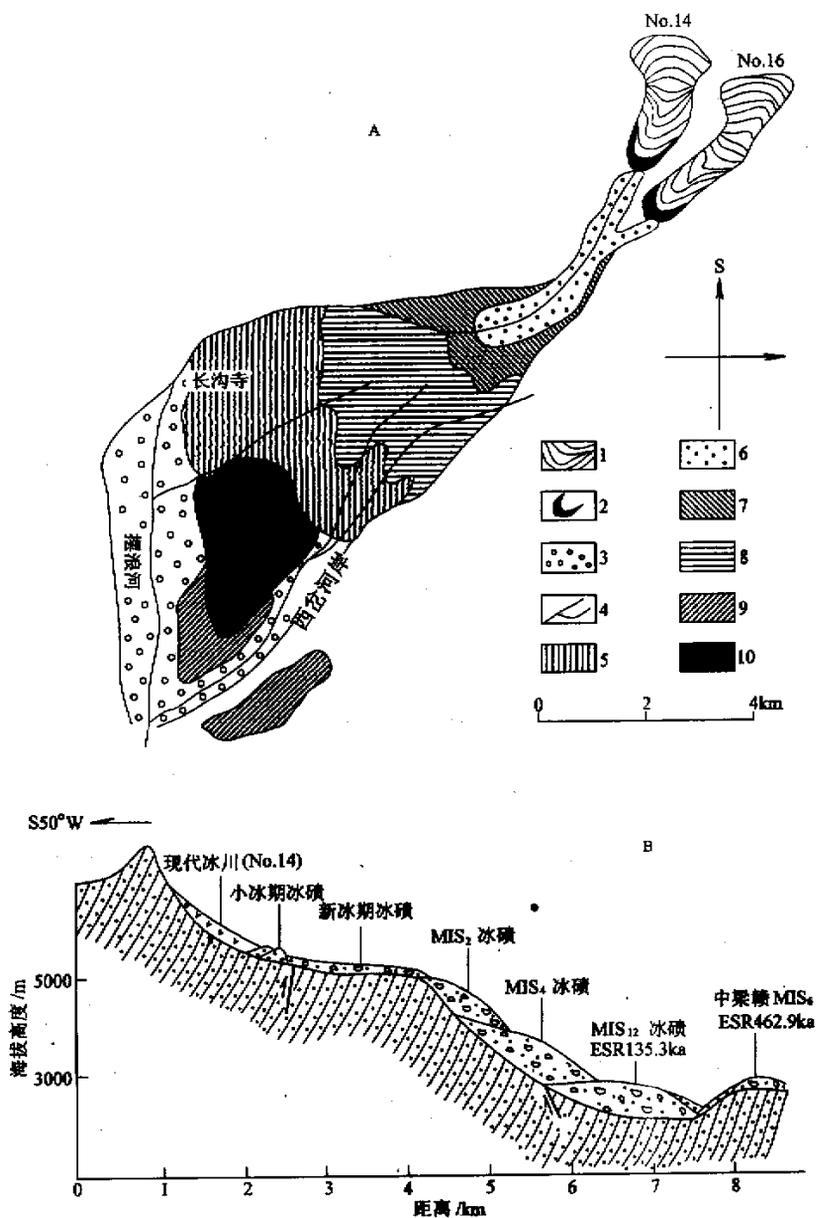


图2 摆浪河中梁赣 (A) 及出露的冰川漂砾 (B)

Fig.2 Zhonglianggan (A) and the erratics on its top (B)

去掉磁性矿物。样品分成 9 等分，每份约 300mg，用<sup>60</sup>Co放射源以不同的剂量进行人工照射。辐照后的样品放置 1 个星期后用德国 Bruker 公司生产的 ECS106 ESR 谱仪测试。测试条件是：

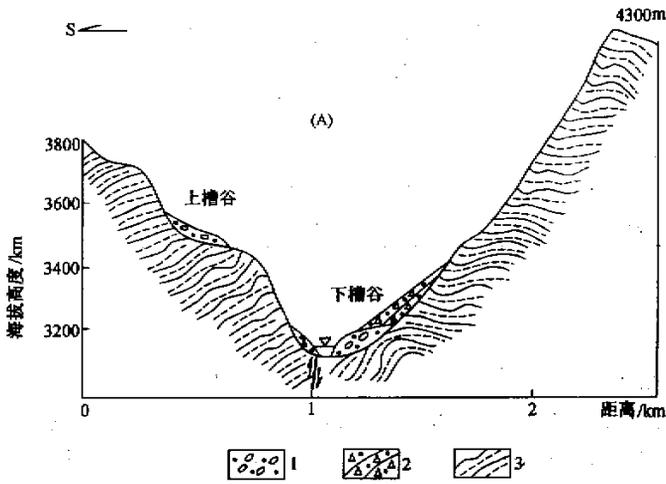


图 3 乌鲁木齐河源望峰附近的地貌横断面 (A) 及上槽谷冰碛 (B)

Fig.3 The cross section of the valley near Wangfeng (A) and the high terrace till (B), the source area of Urumqi River, Tianshan

1. 冰碛; 2. 坡积; 3. 基岩

室温，微波功率谱 2mW，调制幅度 0.08mT，扫场宽度 337mT ± 5mT。用锗心作为 ESR 信号。另一份在 105℃ 恒温下干燥，测得含水量后再将其用玛瑙研钵研磨，然后过小于 0.1mm 筛子。用激光荧光法、比色分光光度法和原子吸收分光光度法分别对沉积物中的 U，Th 和 K 的含量进行测定，根据 Bell 公式由其含量计算出年剂量率 (表 1)。表中天山高望峰两组数

据分别是在 1999 年和 2000 年重复采样测试的结果。ESR 测年的误差一般认为大约 10%。

表 1 样品中 U、Th、K<sub>2</sub>O 含量及 ESR 年龄

Table 1 Contents of U, Th, K<sub>2</sub>O in the samples and ESR datings

样品采集地	U/ $1 \times 10^{-6}$	Th/ $1 \times 10^{-6}$	K <sub>2</sub> O/%	含水率/%	年剂量/Gy/ka	累积剂量/Gy	ESR 年龄/ka
祁连山中梁龛	2.92	11.4	2.12	7.50	3.3100021	1532.2	462.9
天山高望峰	2.08	12.1	2.77	8.00	3.9899392	1903.6	4771.1
天山高望峰	1.99	13.3	3.2	7.79	4.0989650	1884.8	459.7

## 5 讨论

除了上述 ESR 测年数据之外还得到其它相关沉积物测年数据的印证。在摆浪河地区规模最大的冰碛物其顶部 ESR 测年为 135.3kaBP, 与之同步形成的冰水阶地 ESR 测年为 130.1kaBP, 而上覆 18m 厚的黄土底部热释光测年为 141.7kaBP, 说明是倒数第二次冰期 (MIS<sub>6</sub>) 形成的<sup>[5]</sup>, 中梁龛冰碛则是更老的冰碛。上述测年结果从两地地貌及地层学角度来看, 也是可以接受的, 460kaBP 前后正是海洋氧同位素第 12 阶段 (MIS<sub>12</sub>)。柯本和魏格纳很早曾将 W. 彭克提出的阿尔卑斯 4 次冰期与 Milankovitch 60°N 夏季辐射曲线相对比, 认为 Mindel 冰期发生于 430ka ~ 480ka BP。后来的深海钻孔揭示, 自 100ka 周期主宰冰期气候以来, MIS<sub>12</sub> 是大陆冰量最盛时期之一。因此我们曾认为倒数第三次冰期可能发生于这个阶段<sup>[8]</sup>。最近汪品先先生从东海钻孔资料中分析出, MIS<sub>12</sub> 阶段是一个冰期气候的记录。姚檀栋得到的古里雅冰心通过<sup>36</sup>Cl 测年也表明 MIS<sub>12</sub> 阶段的存在。1997 年, M. E. Raymo 也明确将 Mindel 冰期对应于 MIS<sub>12</sub><sup>[9]</sup>, 且其整个对比方案与笔者 1991 年<sup>[8]</sup> 方案完全一致。

施雅风先生曾根据昆仑山垭口望昆冰碛 ESR 测年和西昆仑山古里雅冰帽底部<sup>36</sup>Cl 测年确认, 青藏高原最初冰期起始于 MIS<sub>20</sub> 或 MIS<sub>18</sub> 阶段, 而于 MIS<sub>16</sub> 阶段达到鼎盛, 面积可能达到  $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 时间不晚于 600kaBP ~ 700kaBP<sup>[10]</sup>。P. M. Colgan 最近研究美国分布最广的 Kansan 冰期, 根据未经风化淋溶的冰碛层保持正极性的古地磁性质和相关冰水阶地火山熔岩的裂变径迹年龄, 推断该冰碛形成于 780kaBP 至 620kaBP<sup>[11]</sup>。

以上研究表明, 处于中低纬度的青藏高原和天山在 MIS<sub>2</sub>, MIS<sub>4</sub>, MIS<sub>6</sub>, MIS<sub>12</sub>, MIS<sub>16</sub>, 都有山地冰川扩大事件的发生, 说明经过第四纪早期的大幅度隆升, 大约从 B/M 界限开始, 青藏高原和天山已经为全球冰期冰川活动的舞台。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Tanka T, Sawada S. ESR dating of late Pleistocene nearshore and terrace sands, in southern Kanto Japan [ J ]. ESR Dating and Dosimetry, 1985. 239 ~ 247.
- [ 2 ] Buhay W M, Schwarcz H P, Grun R. ESR dating of fault gouge; the effect of grain size [ J ]. Quat. Sci. Rev., 1988, 7: 515 ~ 522.
- [ 3 ] 业渝光, 刁少波, 和杰人, 高钧成. 中国海岸风沙 ESR 测年研究 [ J ]. 海洋与湖沼, 1955, 26 ( 5 ): 488 ~ 493.
- [ 4 ] YE Yu-Guang, DIAO Shao-Bo, HE Jie, et al. ESR dating studies of palaeo-debris flow deposits in Dongchuan, Yunnan Province, China, Quaternary Geochronology [ J ]. Quat. Sci. Rev., 1988, 17: 1073 ~ 1076.
- [ 5 ] 周尚哲, 李吉均, 张世强, 等. 祁连山摆浪河谷地的冰川地貌与冰期 [ J ]. 冰川冻土, 2001, 23 ( 2 ): 131 ~ 138.

- [ 6 ] 王靖泰. 天山乌鲁木齐河源的古冰川 [ J ]. 冰川冻土, 1981, 3 ( 增刊 ): 57 ~ 63.
- [ 7 ] 崔之久. 天山乌鲁木齐河源冰川侵蚀地貌与槽谷演化 [ J ]. 冰川冻土, 1981, 3 ( 增刊 ): 1 ~ 15.
- [ 8 ] 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 ~ 73.
- [ 9 ] Raymo M E. The timing of major climate terminations [ J ]. *Paleoceanography*, 1997, 12 ( 4 ): 577 ~ 585.
- [ 10 ] 施雅风. 第四纪中期青藏高原冰冻圈演化及其与全球变化的关系 [ J ]. 冰川冻土, 1997, 12 ( 4 ): 577 ~ 585.
- [ 11 ] Patrick M, Colgan. Early middle Pleistocene glacial sediments ( 780000 ~ 620000aBP ) near Kansas City, northeastern Kansas and northwestern Missouri [ J ]. *USA, Boreas*, 1999, 28 : 477 ~ 489.

## STUDY ON THE ICE AGE MIS<sub>12</sub> IN WESTERN CHINA

ZHOU Shang-zhe<sup>1</sup>, YI Chao-lu<sup>2</sup>, SHI Ya-feng<sup>3</sup>, YE Yu-guang<sup>4</sup>

( 1. *Department of Geography, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*; 2. *Department of Environmental Science, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China*; 3. *Lanzhou Institute of Cold & Arid Area and Environment and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; 4. *Qingdao Institute of Marine Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources, Qingdao 266071, China.* )

**Abstract** : The dating is a very key problem in the study of Quaternary glaciation. Recent years, many technologies, for example, OSL ( optically simulated luminescence ), AMS ( accelerating mass spectrometry ), ESR ( electron spin resonance ) and so on, were used to date glacial deposits. Qilian Shan mountains is the northeastern marginal mountains of the Qinghai-Tibetan Plateau and Tian Shan mountains is the big mountains in the center of Asia. The two mountains lie in the temperate arid region of Asia. However, because of appropriate precipitation in high attitude, there are a lot of contemporary glaciers in the two mountains. The glacial deposits and geomorphologies indicate that those glaciers occurred early and advanced for several times during Quaternary period. ESR technology was undertaken to define the timing of the glaciations and associated sediment deposition of the two mountains. The oldest moraine on the top of Zhonglianggan ( 2997m asl and 500m above the contemporary river level ) in Bailang River Basin of Qilian Shan mountains was dated 462.9 ka BP. The oldest high Wafeng till ( 3450m asl and 250m above contemporary river level ) of Urumqi River Basin, Tian Shan, was dated 477.1ka BP and 459.7ka BP. These datings show that the glaciers of the two mountains extended during marine isotopic stage 12 ( MIS<sub>12</sub> ) and implicate a response of the uplifted mountains to the global climatic deterioration.

**Key words** : Western China ; glaciation of MIS<sub>12</sub>