

乌鲁木齐河谷地貌与天山第四纪抬升研究*

周尚哲^① 焦克勤^② 赵井东^① 张世强^{①③} 崔建新^① 许刘兵^①

(^①兰州大学地理科学系, 兰州 730000; ^②中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;

^③武汉大学遥感与信息工程学院, 武汉 430072)

摘要 乌鲁木齐河谷出山口分布 400 多米厚的沙尔巧克砾石层, 是本段天山隆升形成的磨拉石建造. 一次扩大边界的构造抬升事件使沙尔巧克砾石层堆积终止, 于其前缘发生褶皱断裂, 并开始下切. 砾石层顶部测年表明, 这一时间发生于 1148 kaBP, 应该是天山对青藏高原昆-黄运动的响应. 此后是河流反复切割和堆积的阶地形成时期, 共形成 9 级阶地. 运用 ESR 和 TL 测年技术, 第 3 级阶地与后峡至二营第 2 级阶地堆积于氧同位素 6 阶段, 5, 6 级阶地分别堆积于 338 ka 和 562~591 kaBP. 同位素 12 阶段发生最早的高望峰冰期.

关键词 乌鲁木齐河 河谷地貌 ESR 测年 天山抬升

乌鲁木齐河发源于东天山主脉 4562 m 的天格尔第二峰北坡 1 号冰川, 汇集其他冰川径流东流, 于跃进桥附近折向北流, 至终端米泉县, 全长约 214 km. 多年平均径流量 7.02 m³/s, 是乌鲁木齐绿洲的命脉河.

乌鲁木齐河源为冰川冰缘作用区, 下游段为沉积平原区, 其间约 63 km 的山区河段发育很好的河谷地貌. 笔者等人近年在前人工作的基础上就此河谷地貌进行了野外考察和沉积物年代测试工作, 从而试图对本段天山第四纪上升问题做一番探索.

1 沙尔巧克砾石层

乌鲁木齐河出山后即有东白杨河和西白杨河汇入, 由此向前, 河谷两侧为高大的古扇形地(图 1), 此扇形地向北延伸约 12 km 尖灭, 面积约 180 km². 扇顶厚达约 400 m. 扇面坡度 2° (图版 I-1 附于刊后, 下同). 此扇形地堆积后, 除遭乌鲁木齐河贯穿扇中反复切割, 东西白杨河由扇顶横向部分切割外, 其扇面也形成数道“顺向沟”, 进行溯源侵蚀, 它们的源头有的已推进到了扇顶. 如乌鲁木齐河西岸扇面上的卡亚沟、头号沟、二号沟、三号沟等. 由于干旱区山麓降水稀少, 扇面冲沟发育非常缓慢, 故而长达 10 km 以上的冲沟意味着扇形地形成已具有很长的时间.

由切割形成的剖面观察, 扇形地物质由具有一定分选的沙砾石组成, 砾径以 10~20 cm 为主, 大者 30~40 cm, 平均约 15 cm. 磨圆度较好, 圆和次圆者居多. 岩性较单一, 多为灰岩, 花岗岩和粗砂岩. 结构十分密实. 其顶部细粒物质已风化呈棕红色. 由于沙尔巧克镇坐落于这

2001-07-10 收稿, 2001-10-08 收修改稿

* 中国科学院天山冰川观测试验站基金(编号: 9905)、国家自然科学基金(批准号: 49971080)、国家自然科学基金重点基金(批准号: 49731010)资助项目

套砾石层被乌鲁木齐河切割后形成的 3 级阶地上, 我们将其命名为“沙尔巧克砾石层”。

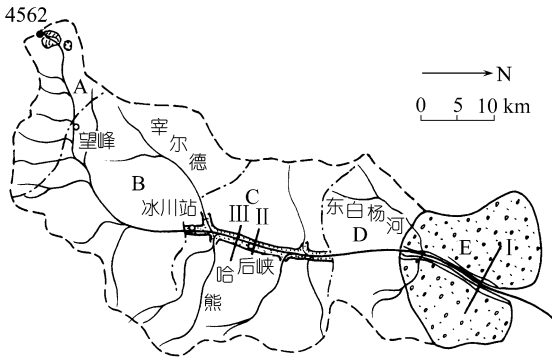


图 1 乌鲁木齐河流域山区段平面图

A 示冰川冰缘区, B 示主山区峡谷段, C 示断陷带宽谷段, D 示南山峡谷段, E 示沙尔巧克砾石层, I. 图 2 剖面位置, II. 图 4 剖面位置, III. 图 5 剖面位置

站在沙尔巧克砾石层顶面向乌鲁木齐河上游山区瞭望, 山口以上存在两级谷肩, 虽因侵蚀残缺不全, 仍依稀可辨. 沿河谷乌-库公路上溯, 这两级谷肩是普遍存在的, 若将沙尔巧克砾石层顶面依坡度顺势上延, 可以认为, 低一级谷肩与沙尔巧克砾石层是同步形成的侵蚀谷地. 高谷肩形成时的侵蚀物质已深埋在山前沉降带中.

关于沙尔巧克砾石层的成因问题, 杨怀仁曾给予冰水堆积的推测, 认为代表了乌鲁木齐河流域最早的一次冰期. 并认为“可知当时山麓地区, 冰川已联成

广阔的山足冰川; 而山上经上新世强烈抬升的准平原上, 可能有大面积为冰雪覆盖”^[1]. 在新疆地质局完成的 1:200000 地质图上, 这套砾石层被认为是 Q_1 的冰水堆积. 但是, 冰水沉积中一般含有未被完全改造的冰川擦痕擦面石, 沙尔巧克砾石层中找不到具有如此特征的石头. 根据其堆积特征, 解释为常态山区河流的山前洪积更为合理. 沙尔巧克砾石层是天山的一次强烈上升形成的山麓扇砾岩. 这种上升以天山山前断层为边界, 使山体整体性抬升至少 400~500 m, 将在高度上与沙尔巧克砾石层底部相对应的山内河床抬升到与扇顶相对应的位置, 在前峡河谷段表现为现在的低谷肩. 沙尔巧克砾石层是比较古老的, 这一点, 从其形成后反复遭到乌鲁木齐河的切割-堆积, 再切割-再堆积的地貌“轮回”, 形成 8~9 级基座阶地和内叠式堆积阶地, 以及砾石层顶部已遭受深风化的事实就可以得到充分的说明.

2 山前河谷阶地

沿乌-库公路南行过永丰镇约 9 km, 便进入乌鲁木齐河谷沙尔巧克砾石层分布区, 这时就可以看见河对岸发育很好的几级阶地, 一直延续到山口. 实际上, 此阶地系列在东西两岸发育均很好, 镶嵌在沙尔巧克砾石层扇形地被深切后形成的谷地中. 公路就位于西岸的 3 级阶地上. 杨怀仁先生曾将此阶地系列划为 9 级, 并将第 5 级以上定为基座阶地, 以沙尔巧克砾石层为基座; 4 级以下定为内叠式堆积阶地. 这基本上符合事实. 在杨先生的剖面图上, 西岸缺失 2, 5, 7 级; 东岸缺失 4, 6, 8, 9 级. 杨先生认为, 西岸 6, 8 级与东岸 5, 7 级对应, 本为同两级阶地, 只是由于后来西岸掀升强烈, 使得它们成为不对称阶地^[1]. 如果此判断是正确的, 则两岸的 9 级阶地实际上就只有 7 级. 这是在同一断面上两岸阶地高度对比所得的结果, 但在不同的断面位置, 某些缺失的阶地仍有出露. 我们在反复追索考察时, 发现 4 级以下阶地在两岸均有发育, 对杨先生的图略加补充修正, 绘成下图(图 2). 阶地物质组成, 砾态和沉积特征与沙尔巧克砾石层雷同. 越高的阶地, 遭流水切割越加严重, 东岸的阶地表现十分显著, 如第 7 级阶地上形成一道道冲沟, 已溯源切入背靠的沙尔巧克砾石层, 显示其形成时间长久. 所有的阶地中, 第 3 和第 5 级以其相对高度高, 阶地面宽敞而最为突出, 以其拔河高度判断, 惟有这两级阶地未

受到峡谷段的限制而向上游时断时续延伸, 故应视为乌鲁木齐河的主阶地。

我们这次利用电子自旋共振(ESR)方法对此阶地系列进行了测年, 得到的年龄数据及其层位如图 2 所示。ESR 测年原理和实验过程^[2-5]容不赘述, 其误差范围一般认为约 10%。本文测年实验均在青岛海洋地质研究所进行。沙尔巧克砾石层顶部测年 1148.2 kaBP。此后, 砾石层下切, 继而进入河流堆积-侵蚀旋回时期。分别于 50 多万年前形成第 6 级阶地, 30 多万年前形成第 5 级阶地, 11 万多年前形成 3 级阶地。分布于两岸的第 5, 第 6 两级阶地, 测年数据竟相差 20 多万年, 表明它们并不属于同一级阶地。

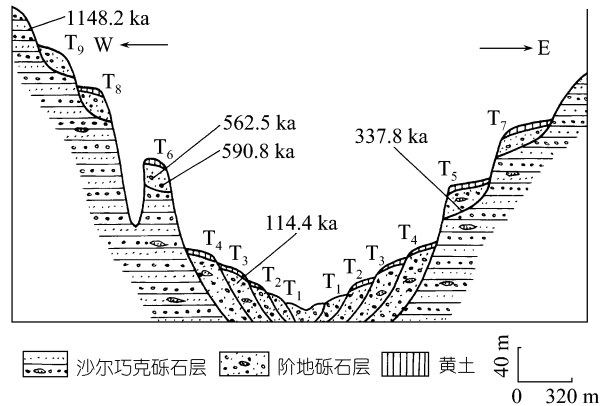


图 2 沙尔巧克砾石层扇形地深切后的谷地中形成的阶地及其 ESR 测年

3 山内河谷地貌

白杨河以上的前峡口一直到望峰道班, 乌鲁木齐河谷可被分为三段(图 1 A B C 三段), 即前峡口-英雄桥-达板沟峡谷段, 达板沟-后峡-二营-冰川站宽谷段和冰川站-跃进桥-红五月桥-望峰道班峡谷段。长度分别为 6, 15, 22 km。宽谷段纵比降小而峡谷段大。从卫星照片上大的地貌轮廓来看, 英雄桥峡谷段代表了本段天山北部第二隆起带(姑命名为南山隆起带)。这一隆起带东西向延伸, 海拔高度起伏于 3000~3200 m。在南山隆起带和天山主脉之间为一东西向延伸的由断层控制的断陷带, 海拔低于南山带数百米。此断陷带和第二隆起带均与主脉平行, 从柴窝堡湖向西延伸到玛纳斯河, 约 170 km。于是, 在横跨的乌鲁木齐河、头屯河、三屯河、呼图壁河、塔西河、玛纳斯河等南北向河流的相应段均出现了峡谷与宽谷。在乌鲁木齐河谷, 南山峡谷段出露地层为石炭系下统牙曼苏组(C_{1y}), 后峡宽谷段则为侏罗系下统八道湾组(J_{1b}), 主脉段则为泥盆系上统天格尔第二组(D_{3t}^b), 而在沙尔巧克砾石层的前缘, 第三系上新统昌吉河组(N_{2ch}^{a+b})出现露头(图 3)。此地层出露情况也充分说明, 本段天山 4 个不同时间的隆起-剥蚀带的存在。乌鲁木齐河谷受这种大尺度的构造格局的控制, 峡谷段的地貌比较单调, 只是前述两级谷肩时有出现。与山前第 3、第 5 级阶地相当的两级主阶地在略微宽敞处和支流汇口处分布, 在有的地段表现为侵蚀阶地, 有的地段表现为基座阶地, 有的地方只保留贴在谷壁上的砾石层。相对而言, 宽谷段的地貌与沉积内容丰富。

宽谷段河漫滩连同一级阶地也宽不过 300~400 m, 以后峡最为宽敞, 故而这里的阶地发育保留较为完整。后峡的阶地共有 4 级, 第 4 级以上便是上文所谓高位断陷带的底面。后峡阶地即以侏罗系八道湾组砾岩粗砂岩为基座发育。第 2 级阶地以上, 均有黄土堆积, 第 2 级阶地上的黄土厚达 11 m(图 4, 图版 I-2)^[6]黄土中含有水流冲积沙夹层甚至岩块(大者达 1.5m), 乃黄土堆积时, 基岩山坡风化剥蚀的沙和岩块被水流及重力作用所带入, 也表明此黄土堆积系风成与水成作用共同塑造。我们对其底部(10.4 m 深处)采样做了热释光测年, 年龄为 90.0 ± 7.5 kaBP,

距剖面

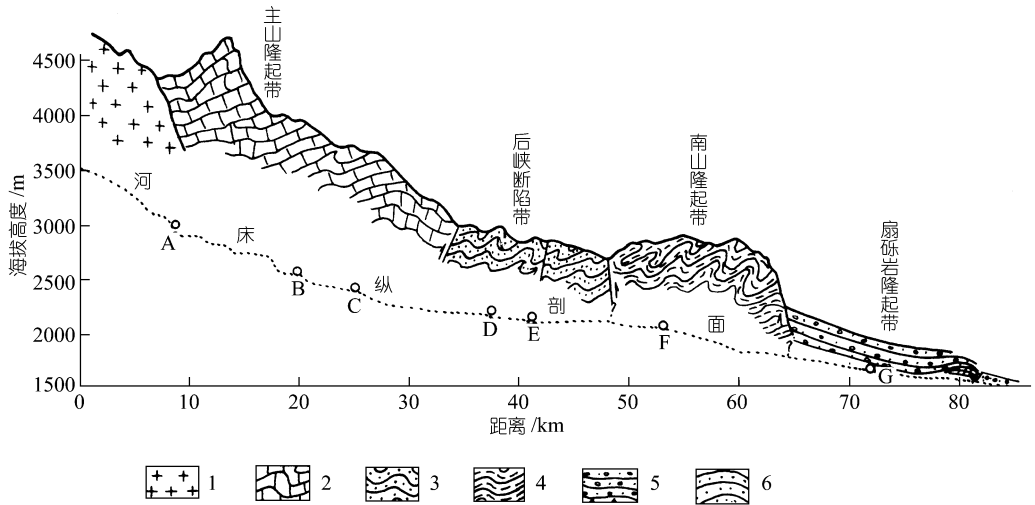


图 3 乌鲁木齐河纵剖面地貌和地质构造示意图

1. 华力西侵入花岗岩, 2. 泥盆系天格尔组凝灰粉砂岩, 3. 下侏罗系八道弯组砾岩粗砂岩, 4. 石炭系牙曼苏组, 5. 第四系沙尔巧克砾石层, 6. 第三系昌吉河组泥岩; A. 望峰道班, B. 红五月桥, C. 跃进桥, D. 冰川站, E. 后峡, F. 英雄桥, G. 青年渠

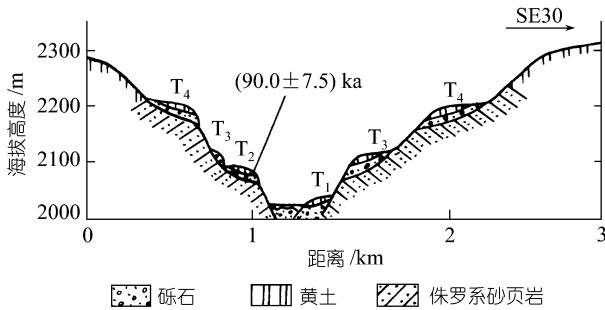


图 4 后峡阶地断面

顶部 0.4 m 处为一层黑色古土壤, ^{14}C 测年为 1710 ± 60 aBP, 表明第 2 级阶地物质堆积于末次冰期之前, 上覆黄土主要是末次冰期乃至全新世的堆积. 从后峡向上游 5 km 便是二营. 二营与天山冰川站之间的宰尔德沟口分布有 3 级阶地(图 5). 二营下方的哈熊沟口对面, 出现第 4 级阶地, 向下延续到后峡. 我们对第 2 级阶地砾石层沙透镜体采样做 ESR 年龄, 结果为 125.5

kaBP. 表明与后峡 2 级为同一级阶地, 也与沙尔巧克砾石层分布区的第 3 级阶地(ESR114.4 kaBP)在形成时间上相当, 乃氧同位素 6~5 阶段堆积物. 而后峡第 4 级阶地, 可能与沙尔巧克砾石层分布区的第 5 级阶地(ESR 337.9 kaBP)相当. 天山站以上的峡谷段再没有连续的系列阶地分布, 只有残留的片断阶地或砾石层紧贴谷壁. 如红五月桥冰水阶地, 布拉特沟口侵蚀阶地, 高望峰台地等. 在一个规模不大的山区流域, 由于构造运动的复杂性及可能的局部堵塞等因素, 依靠地貌学将长距离不同河段的阶地进行对比是一件困难的事. 即使我们能够确定其为构造运动形成的阶地, 也不能够说, 在空间序列上,

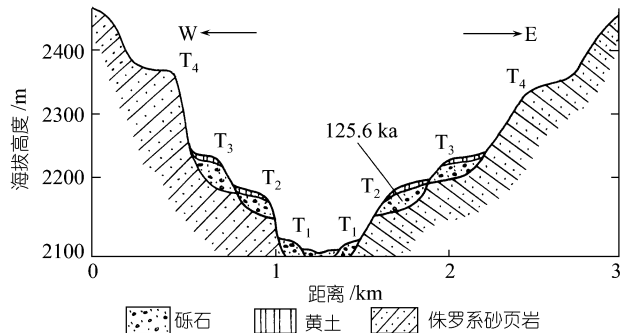


图 5 二营附近的阶地及 ESR 测年

上下游的同一级阶地(如第 3 级), 在时间上就表示同一个上升事件. 当构造上升事件 C 从下游传递到上游时, 上游开始切割形成第 1 级阶地, 但下游可能正在经历另一个上升事件 E, C 事件的阶地就开始成为第 3 级阶地. 在此情况下, 同一级阶地也许同时形成, 但并不能归结为同一个构造事件的产物. 换言之, 同一个构造轮回形成的阶地, 在下游已经几十万年, 但在上游可能才几万年, 其时间间隔即是构造裂点由下游向上游溯源运动所经历的时间. 因此上面的比较只表示其形成的同时性, 并不是说他们形成于同一个构造旋回.

气候干湿变化导致的加积和侵蚀作用在时间上的交替有时也能在山区小流域快速形成所谓气候阶地. 但本研究区阶地规模较大, 阶地面平坦, 不同阶地砾石具有比较一致的相态, 显示本区阶地应该主要是构造运动的产物. 在此前提下也不排除河源区冰川作用一定程度的干扰. 这就是说, 乌鲁木齐河谷的阶地系统应视为天山构造抬升的证据.

4 本段天山的新构造抬升问题

关于天山山体演化以及第四纪的新构造上升问题, 王树基先生和罗来兴先生有深入系统的研究^[7], 本文只是想探索一下, 乌鲁木齐河谷地貌的发育过程对于本段天山的新构造抬升这一问题究竟提供了什么信息.

(1) 如前文所述, 本段天山在第四纪期间呈阶梯状的断裂抬升, 我们已分出主脉隆升带, 南山第二隆升带, 以及夹于其间的断陷带. 实际上, 南山以北的沙尔巧克砾石层分布区却是另一个上升带. 这些不同的隆升带发动于不同的时期, 中间均为正东西向的大断层所控制. 当然也不排除伴随有一定程度的掀升或褶曲上升. 但目前的地貌和出露地层说明, 主要为断层两侧地层的大幅度相对垂直错动.

(2) 沙尔巧克砾石层沉积扇的后缘紧贴在南山北部的断层壁上, 扇顶的沉积厚度为 400 m, 而此扇顶断层壁以上, 即进入南山第二隆起带的英雄桥峡谷段, 此段找不到一点残留的沙尔巧克砾石层堆积, 只表现了河流的强烈下切, 且下切时间是在沙尔巧克砾石层堆积之后. 这说明, 沙尔巧克砾石层堆积时, 南山是沿山前断层上升的, 上升时断层以南的南山段河床跟着抬升. 一般从理论上来说, 如果一个山块沿断层上升, 则贯穿其中的河流从作为局部基准面的断层开始, 形成向上游移动的裂点, 即对上升部分开始下切. 如果河流侵蚀速率足够快, 则河流下切量就会消除抬升量, 使河床的高度保持不变. 但在山前洪积扇加积过程中, 不管山地的上升量和下切量多大, 河流出口口的高度一定是保持在扇顶之上的. 就是说, 由于山前堆积物质的阻塞, 山地河床不发生下切; 或虽下切, 但不低于扇顶位置. 所以说, 山前磨拉石(Molasse)建造表示山地的隆升. 沙尔巧克砾石层堆积符合这种情况, 其扇顶沉积厚度为 400 m, 紧贴于断层壁, 说明此砾石层加积过程是一个山地河床由与砾石层底部对应的位置抬升至与顶部对应的位置的过程. 在这一过程中, 位于上升盘的河谷必然迅速下切, 因而山地上升将超过 400 m (位于下降盘的扇型地堆积物厚度). 完成这一堆积的时间即为 1148.2 ka BP.

(3) 沙尔巧克砾石层堆积后, 即开始了反复下切和阶地系列的形成. 截止目前, 已累计下切亦 400 m, 接近砾石层的下伏基岩(N). 我们需要讨论的是, 这一累计下切量, 是否意味着山地又抬升 400 m 呢?

沙尔巧克砾石层前缘亦为断层所控制, 但却伴随有显著的褶皱运动, 形成以红色的第三系昌吉河组为核心的新背斜, 沙尔巧克砾石层在背斜轴部被抬升到高于河面 200 多米的位置

(图版 I-3)。卫星图上显示,北天山山前的这个高度带上,断层十分显著,由乌鲁木齐河一直延伸到巩乃斯河附近。1:50000 地质图也标明,沿这个带的昌吉河组广泛出露,此带较其北面的沉降区海拔骤然增高 400~500 m。这些迹象表明,本段天山在沙尔巧克砾石层沉积之后发生又一次扩大边界的强烈抬升,并使扇砾岩变形。累计 400 m 的下切量,毫无疑问代表着其相对抬升量。在形成第 6 级阶地(562~591 kaBP)之前,为振荡抬升,之后,则一次性切穿几乎以下约 200 m 厚的砾石层,使以后的阶地成为内叠式堆积阶地。

卫星图和地质图上显示,天山山麓呈三级断层崖阶梯状过渡到沉降中心地带,说明本段天山由轴部带动两侧呈阶梯状上升;在乌鲁木齐河谷纵断面上,峡谷段是裂点比较发育的河段(图 3),这些裂点是河流溯源侵蚀的标记,从而也是山地沿断层每次相对运动的记录。因此,我们认为,本段天山新构造运动显示断块上升特征,上升部分由轴部向两侧扩展。南山段自沙尔巧克砾石层开始堆积至今,至少上升 800~1000 m,且由于褶曲,掀升等作用的伴随,轴部上升幅度必然更大。应该特别指出的是,沙尔巧克砾石层沉积之后的这次扩大边界的抬升下切是一次标志性的地质事件,这次抬升可能是“天山地区晚近地质构造运动第二幕”的响应^[7],也是对青藏高原昆-黄运动的响应^[8,9]! 研究显示,塔里木盆地南缘干旱化的加剧和黄土堆积即开始于这次运动之后^[10]。

第四纪冰期气候旋回配合了本段天山的强烈隆升,终于导致了冰川作用的出现。关于本区最早的冰川作用,以前研究者有过一些推测。后来崔之久先生和王靖泰先生^[11,6]在望峰道班附近发现了残留的高冰川槽谷,高出现代河床 200~300 m,其上保留有冰碛物,无疑代表了一次冰川作用,被命名为“高望峰冰期”。高望峰冰期是目前比较公认的确切的流域最老的冰期,ESR 测年为约 46 万年^[12]。相当于氧同位素 12 阶段。说明本段天山上升至少于此时就跨入了冰冻圈。

致谢 野外工作期间得到金明燮,杨惠安等的大力支持;ESR 样品测试在青岛海洋地质研究所进行,业渝光研究员热情指导。最后,李吉均先生与崔之久先生审阅全文并提出修改意见。在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 杨怀仁,邱淑彰. 乌鲁木齐河上游第四纪冰川与冰期后气候波动. 地理学报, 1965, 31(3): 194~209
- 2 Tanka T, Sawada S. ESR dating of late Pleistocene nearshore and terrace sands in southern Kanto Japan. ESR Dating and Dosimetry, 1985. 239~247
- 3 Buhay W M, Schwarcz H P, Grun R. ESR dating of fault gouge: the effect of grain size. Quaternary Science Reviews, 1988, 7: 515~522
- 4 Yu-Guang Ye, Shao-Bo Diao, Jie He, et al. ESR dating studies of palaeo-debris flow deposits in Dongchuan, Yunnan Province, China, Quaternary Geochronology. Quaternary Science Reviews, 1998, 17: 1073~1076
- 5 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. 冰川冻土, 2000, 22(4): 353~357
- 6 王靖泰. 天山乌鲁木齐河源的古冰川. 冰川冻土, 1981, 3(增刊): 57~63
- 7 中国科学院新疆地理研究所. 天山山体演化. 北京: 科学出版社, 1986. 74, 178~187
- 8 崔之久,伍永秋,刘耕年,等. 关于“昆仑-黄河运动”. 中国科学, D 辑, 1998, 28(1): 53~59
- 9 李吉均,方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究. 科学通报, 1998, 43(15): 1569~1574
- 10 方小敏,吕连清,杨胜利,等. 昆仑山黄土与中国西部沙漠发育和高原隆升. 中国科学, D 辑, 2001, 31(2): 177~184
- 11 崔之久. 天山乌鲁木齐河源冰川侵蚀地貌与槽谷演化. 冰川冻土, 1981, 3(增刊): 1~15
- 12 周尚哲,李吉均. 冰期之青藏高原新研究. 地学前缘, 2001, 8(1): 67~75



1. 沙尔巧克砾石层扇形地扇面形态; 2. 后峡 2 级阶地上的黄土剖面及 TL 测年; 3. 沙尔巧克砾石层前缘新构造运动使第三系地层发生背斜