**文章编号:**1000-0240(2012)02-0304-07

# 阿尔泰山喀纳斯河流域末次冰期 OSL 年代学新证

江合理<sup>1</sup>, 赵井东<sup>2\*</sup>, 殷秀峰<sup>2</sup>, 李忠勤<sup>1, 2</sup>, 康 剑<sup>3</sup>, 孙吉舟<sup>3</sup>

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730070;2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈
 科学国家重点实验室,甘肃 兰州 730000;3. 喀纳斯景区管理委员会,新疆 布尔津 836600)

摘 要:布尔津河支流喀纳斯河源于中俄蒙三国交界处友谊峰的南坡,为额尔齐斯河的重要源区.友 谊峰连同奎屯峰等高峰形成了阿尔泰山最大的现代冰川作用中心. 在第四纪期间,这些冰川都发生了 规模较大的进退,在河谷中留下了形态较为清晰的冰川地形. 应用 OSL 单片再生剂量测定技术对采自 主 U型谷两侧的高大侧碛垄进行了定年,测年结果分别为(27.2±2.0) ka(K-1)与(16.1±1.5) ka(K-2). 基于地貌地层学原理、并结合已有的年代学资料(OSL 与<sup>14</sup>C)与古气候研究资料,末次冰期以来喀 纳斯河流域共有 5 次规模较大的冰进,分别为小冰期、新冰期、末次冰期晚冰阶(MIS 2)、末次冰期中 冰阶(MIS 3 中期)与末次冰期早冰阶(MIS 4).

关键词: OSL 测年; 冰川地貌; 末次冰期; 喀纳斯河流域; 阿尔泰山 中图分类号: P534.63 文献标识码: A

0 引言

第四纪期间,地球上的气候发生了十分迅速而 频繁的变化,冰期与间冰期旋回是其主要的特征, 冰川作用区的冰川均发生了规模较大的进退.冰川 在其形成、演变过程中,通过侵蚀、搬运与沉积等 作用形成了形态独特的冰川地形,这些地形是冰冻 圈变化最直接的证据,记录了过去冰冻圈的演化情 况,对它们进行研究可重建古冰川的变化情况.测 年技术的发展与应用使冰川地形数值年龄的获得成 为可能<sup>[1-3]</sup>.近年来,我国第四纪冰川研究取得的 成果与新进展多为年代学与地貌地层学相结合而获 得的<sup>[4-6]</sup>.

阿尔泰山是亚洲中部高大宏伟的山系之一,横 亘于中国、蒙古、俄罗斯与哈萨克斯坦四国境内, 为一系列西北——东南走向的山体构成.我国境内 部分为阿尔泰山的中段南坡,分布在新疆北部,地 理位置介于 45°47′~49°10′N,85°27′~91°01′E 间,也是最高峰友谊峰(海拔 4 374 m)之所在.友 谊峰联结奎屯峰(海拔 4 104 m)等高峰形成了整个 阿尔泰山系最大的现代冰川作用中心.我国境内有 现代冰川416条,面积约293km<sup>2</sup>,冰储量约16.49 km<sup>3</sup>,冰川类型比较齐全,包括悬冰川、冰斗冰川、 冰斗悬冰川、山谷冰川与复合型山谷冰川<sup>[7]</sup>.多位 学者对本区的现代冰川与第四纪冰川进行了考察研 究,刘潮海等<sup>[8]</sup>最早对本区的第四纪冰川演化进行 了探讨.随后,崔之久等<sup>[9]</sup>对本区的第四纪冰川演 化进行了更为深入的探讨.最近,Xu Xiangke 等<sup>[10]</sup>应用 OSL (Optically Stimulated Luminescence)测年法对喀纳斯湖口向下 3.5 km 范围内的 多列冰碛垄进行了测年.本文在 2009 年夏季河源 区考察的基础上,基于主 U 型谷两侧高大侧碛垄 的 OSL 测年结果、结合已有的年代学资料(OSL 与<sup>14</sup>C)与古气候研究资料对喀纳斯河流域末次冰期 以来的冰川演化进行了更为详细的探讨.

1 研究区概况

喀纳斯河流域共发育有现代冰川 40 条,面积 约 85 km<sup>2</sup>,冰储量约 7.67 km<sup>3</sup>.喀纳斯冰川是流域 最大的复合型山谷冰川,长约10.8 km,面积约

收稿日期: 2011-11-08; 修订日期: 2012-01-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071010);中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-EW-QN304; KZCX2-EW-311);冰冻 圈科学国家重点实验室自主课题(SKLCS-ZZ-20120003);科技部科技基础性工作专项(2006FY110200)资助 作者简介: 江合理(1986-),男,江西景德镇人,2009 年毕业于江西师范大学,现为硕士研究生,主要从事第四纪冰川与 GIS 研究. \* 通讯作者: 赵井东, E-mail; jdzhao@lzb.ac. cn



图 1 阿尔泰山喀纳斯河流域第四纪冰川遗迹分布图<sup>[9]</sup> Fig. 1 Glacial geomorphology in the Kanas River valley, Altay Mountains

30 km<sup>2</sup>,冰储量约 3.92 km<sup>3</sup>,末端降至海拔 2 416 m<sup>[7]</sup>.本区冰川平衡线高度介于海拔 3 020~3 360 m,平衡线附近年平均气温-7~-8 ℃<sup>[11]</sup>,故此处 的冰川类型为大陆型冰川.阿尔泰山受西风带环流 与北极气流的交互影响.根据喀纳斯冰川的雪坑资 料推算,此处年降水量 700~800 mm,冬半年降水 占全年降水量的 45%~50%.海拔 2 000 m 以上山 地积雪厚度 1.5~2.0 m,是中国积雪较厚,时间最 长的地区<sup>[7]</sup>.现在的喀纳斯河流域已被保护性的开 发为旅游景区,其中驰名中外、风景秀美的喀纳斯 湖为冰碛堰塞湖,古冰川作用是其重要的成因之 -<sup>[10]</sup>.

#### 2 冰川地貌

喀纳斯河流域第四纪冰川作用地形分布广泛, 类型也比较齐全.其中冰蚀地形有冰斗、角峰、刃 脊、U型谷、羊背石等;冰碛地形包括侧碛垄、终 碛垄以及相应的冰水沉积等(图1).

#### 2.1 冰蚀地貌

U型谷是喀纳斯河流域最为壮观的冰蚀地形, 喀纳斯河谷即为一个发育完好的 U 型谷,从喀纳 斯冰川末端一直延伸到海拔约 1 250 m 处,全长约 100 km. 在规模宏大主 U 型谷的两侧存在许多呈 悬挂状态、与主 U 型谷呈近似直交的悬谷,这说明 在较大冰川作用期,古喀纳斯冰川为规模更大的复 合型山谷冰川或巨型树枝状山谷冰川.此外,此处 还可以见到嵌套的 U 型谷,这是多次冰川作用最 直接的证据.

冰斗是喀纳斯河流域另一种形态清晰的冰蚀地 形(图 2),本区的冰斗成层分布,形成冰斗阶梯, 按照海拔高度共可分为 5 级:冰斗底部的平均海拔 分别为 2 210 m、2 415 m、2 642 m、2 865 m、 3 080 m. 其中海拔 2 600~2 700 m 之间的冰斗最 多,约占冰斗总数三分之二<sup>[9]</sup>.大部分第四与第五 级冰斗仍被积雪与冰川覆盖,第一至第三级冰斗则 为空冰斗,有些冰斗已积水形成冰斗湖.冰斗具有 重要的气候指示意义,成层分布的冰斗是划分冰川



图 2 喀纳斯湖湖口西南方向冰斗群(见图 1 所示) Fig. 2 Cirques to the southwest of the Kanas Lake outlet

演化相对序列重要的参考指标.

角峰是四周冰斗冰川溯源侵蚀形成的,呈金字 塔状.本区的角峰有两种类型:一类分布在高山 区,现代冰川侵蚀强烈,峰形险峻;一类分布在中 山区,由于后期的风化剥蚀,峰顶浑圆.在相邻的 山谷之间,保存着被冰川侵蚀呈刀刃状的山脊,即 刃脊.另外,在河谷中还可以看到基岩磨光面以及 成群的羊背石等冰蚀地形.

2.2 冰碛地貌

在全球变暖背景下,喀纳斯河流域的冰川也呈 退缩状态. 在喀纳斯冰川末端,近几十年冰川退缩 留下的垄状地形不甚明显. 2009 年实际测量的冰 川末端位置(海拔约 2 460 m)与地形图资料相比较 (海拔约 2 416 m),喀纳斯冰川退缩了约 800 m. 在冰川两侧,冰川退缩减薄的印记十分清晰. 从海 拔 2 416 m 至海拔约 1 200 m 处,共沉积有 4 套不 同冰期的冰碛地形(图 1).

第一套分布在现代冰碛至海拔 2 250 m 处,在 长约 2.3 km 的槽谷中共有数列冰碛垄,这些冰碛 垄的形成时间距今比较近,冰碛石仅有初步风化的 迹象,在外围冰碛上,已经有灌木甚至乔木开始生 长.其时冰川长 13.8 km.

第二套冰碛距第一套冰碛约 18 km,分布到海 拔约 1 800 m 处,有形态清晰的 3 列终碛垄组成. 中间一列最为高大,第一列相对高度为 20~40 m; 中间一列相对高度达 100 m;第三列相对高度为 60 m. 这套终碛垄阻塞河谷,形成面积约 9 km<sup>2</sup>,成 "人"字形的阿克库勒湖.因上游汇入的水流里含有 大量细颗粒的花岗岩岩屑,加之周围山头积雪与冰 川的映照,所以整个湖泊呈白色,故又称为白湖, 这次冰期亦被称为阿克库勒冰期.在第一套与第二 套冰碛之间的 U 型谷中保存有高低两列侧碛垄, 地貌关系显示:较低一列侧碛垄对应于阿克库勒冰 期,有一定程度的风化并发育有薄层土壤,其上生 长有暗针叶林.

喀纳斯冰期冰碛为本流域的第三套冰碛,最明显的冰碛地形分布在喀纳斯湖口向下 3.5 km 范围内<sup>[9]</sup>. 根据其形态可分为三组,第一组位于喀纳斯湖出口处,为 7~9 道弧形垄岗组成的终碛丘陵,分布高度 1 370~1 400 m,与之对应的是喀纳斯湖两侧各有一道海拔 1 400 m 的侧碛堤. 第一套与第二套冰碛之间的 U 型谷中的高侧碛垄以及主谷两侧形态较为完整的侧碛垄与这组冰碛可相互对应. 第二组分布在距湖 2.5~3.0 km 处,由 3 列弧形冰碛构成,比高 10~20 m,上覆盖有 25 cm 厚的类黄土沉积. 第三组距湖 3.5 km,由 3~4 列弧形冰碛垄构成,宽 400~500 m,是 3 套冰碛中最大的. 上覆类黄土 40 cm,砾石较小,风化较深.

#### 表 1 样品采集点的位置参数及其描述

Table 1 Sampling sites and description of the samples

样品编号	<b>经度</b> /E	纬度/N	<b>海拔</b> /m	<b>深度</b> /m	样品描述
K-1	87°36′57.52″	49°07′42.31″	2 352	0.3	高侧碛垄中冰水沙透镜体
K-2	87°29′36.19″	9°02′47.89″	1 834	0.5	高侧碛垄中冰水沙透镜体

# 3 研究方法与结果

本次测定的样品采自阿克库勒湖向上约 6 km 及向下约 3 km 的高大侧碛垄中的冰水沙透镜体 (表 1). 样品预处理与测试在中国科学院青海盐湖 研究所释光实验室中进行的,钢管两端约 2~3 cm 的样品掏出以备测定样品的含水量与环境剂量,中 间的样品处理流程参照文献[12-14]. 为了避免样 品的年龄不被低估,取少量处理好的样品进行红外 信号检测,若样品还存在明显的红外信号,需要使 用 H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>对样品进行再处理<sup>[15]</sup>,最终制取符合测 定要求的样品.

处理好的石英颗粒用硅胶油粘在不锈钢片上, 在丹麦生产的 Risø TL/OSL-DA-20 释光仪上进行 测定.图 3 为样品的自然剂量、测试剂量(TD= 14.9 Gy)、循环测试剂量(K-1, R4=209 Gy; K-2, R6=119 Gy)以及 0 Gy 再生剂量的 OSL 信号衰 减曲线.信号衰减曲线显示:在第一秒内信号衰减 非常快,信号主要为对光照敏感的快组分构成.样 品等效剂量(equivalent dose,  $D_e$ )的测定采用了 SAR<sup>[16]</sup>(图 4)与标准增长曲线(standardised growth curve, SGC)<sup>[17-19]</sup>相结合的方法.对于每 个样品,6个测片使用 SAR 进行  $D_e$ 测量,16~18 个测片在 SAR 测定相同的条件下测定自然剂量值 与测试剂量值的比值( $L_N/T_N$ ),利用 SAR 测定的 数据建立的 SGCs,代入  $L_N/T_N$ 数值计算出对应的 SGC- $D_e$ 值,最终的  $D_e$ 是 SAR- $D_e$ s 与 SGC- $D_e$ s 值











表 2 OSL 年龄及其相关参数

 Table 2
 OSL dating results as well as the correlated parameters

样品编号	含水量/%	$U/10^{-6}$	$Th/10^{-6}$	K/ %	$D_{ m e}/{ m Gy}$	年龄/ka
K-1	2.38	2.44±0.23	9.70±0.25	2.15 $\pm$ 0.08	106.57 $\pm$ 2.01	27.2±2.0
K-2	8.83	3.54±0.21	$15.90 \pm 0.37$	2.36 $\pm$ 0.07	72.94 $\pm$ 4.43	16.1±1.5

### 的均值.

样品所在环境 U、Th 的浓度与 K 的百分含量 采用了中子活化技术. 样品的年剂量通过测定的 U、Th 的浓度、K 的百分含量、含水量以及样品所 接受的宇宙射线的贡献率<sup>[20]</sup>等参数最终推算得出. 计算参数见表 2.

### 4 讨论

释光测年一个重要的前提是测定的样品在埋藏 前得到了充分曝光. 青藏高原东缘横断山的冰碛物 测年研究表明冰川沉积曝光比较完全<sup>[14]</sup>. 根据山 地冰川的运动特点,曝光程度与曝光的可能性为: 表碛>内碛>底碛,冰水沉积>冰碛(冰川直接沉 积)等. 本研究采集的两个样品为冰碛垄中的沙质 透镜体,属于冰水沙沉积. 而且测定的年龄与地貌 沉积关系相一致,故这两个年龄是可信的.

根据青藏高原及周边山地冰川的演化模式与小 冰期冰碛的特征<sup>[4-5]</sup>,现代冰碛外围新鲜、未风化, 无土壤发育与植被覆盖的 1~3 列终碛垄为小冰期 (16 世纪以来冷期)冰川前进所沉积. 据此推断, 分布在现代冰碛至海拔 2 250 m 处的第一套冰碛应 是小冰期冰川波动前进所沉积. 其时喀纳斯冰川长 13.8 km,比现代冰川长约 3 km.

阿克库勒冰期冰碛形成时,喀纳斯冰川为规模 更大的复式山谷冰川.阿克库勒湖向上至小冰期冰 碛垄间较低侧碛垄与这套冰碛在地貌关系上呈对应 关系.崔之久等<sup>[9]</sup>基于喀纳斯湖湖口附近冰碛表面 沉积的钙膜(钙膜的出现表明,这些冰碛沉积后经 历了一个较为暖湿的时段)的<sup>14</sup>C年龄((4 040±80) a BP)推断阿克库勒冰碛沉积于新冰期,其时的喀 纳斯冰川长约 32 km.此外,从阿克库勒湖湖口直 至喀纳斯湖湖口段的主谷两侧,与其相交的支谷谷 口处多保留有该时期的冰碛垄.

喀纳斯冰期(第三套)冰碛分布于喀纳斯湖口向 下 3.5 km 范围内. 崔之久等<sup>[6]</sup>考察研究将其分为 3 组. Xu Xiangke 等<sup>[10]</sup>应用 OSL 对这三组冰碛进 行了定年,根据测定的年龄推断这三组冰碛垄形成 于海洋氧同位素阶段(Marine Oxygen Isotope stage, MIS)2、3a 和 3b. 本次获得的阿克库勒湖 上约 6 km 与其下约 3 km 高大侧碛垄的 OSL 测年 结果(K-1,(27.2±2.0) ka 与 K-2,(16.1±1.5) ka)进一步证实了 MIS 2 冰川作用. 考虑到大冰川 对气候变化响应滞后、Xu Xiangke 等<sup>[10]</sup> 测定的 OSL 年龄的误差范围(KNS07-50, (28.0±3.3)ka; KNS07-67,  $(34.4 \pm 4.2)$  ka; KNS07-68,  $(38.1 \pm$ 4.5)ka; KNS07-57, (49.9±5.4)ka)、MIS 3 中期 湿冷的气候环境以及其他地区获得的这个时段冰进 的年代学证据[5-6, 21-23],施雅风等[5]认为这三组冰 碛垄对应于 MIS 2、MIS 3 中期与 MIS 4, 即末次 冰期晚冰阶、中冰阶与早冰阶更为合理. 海拔 2 400 m 左右的冰斗群可对应于末次冰期早冰阶, 冰川平衡线下降值约 780 m, 海拔 2 700 m 左右的 冰斗群可对应于末次冰期晚冰阶,冰川平衡线下降 值约 560 m<sup>[9]</sup>,介于其间的冰斗形成时间可对应于 末次冰期中冰阶.当时的喀纳斯冰川为长约100 km 的树枝状山谷冰川.冰川巨大的侵蚀与搬运作 用,将源区的物质搬运至现在的位置,阻塞喀纳斯 河谷,形成冰碛阻塞湖. 在喀纳斯冰期冰碛外围的 第四套冰碛地形形成于 MIS 6<sup>[24]</sup>. 山梁上残存的, 已呈球状风化的花岗岩漂砾表明本区还有更老的冰 川活动.

### 5 结论

主 U 型谷两侧高大侧碛垄 OSL 测年结果(K-1,(27.2±2.0) ka 与 K-2,(16.1±1.5) ka)为喀 纳斯流域末次冰川变化新的年代学证据,进一步证 实了 MIS 2 冰川作用.末次冰期以来,冰川规模逐 渐变小,期间共发生了 5 次冰进.末次冰期期间有 3 次,在时间上分别可对应于 MIS 4、MIS 3 中期与 MIS 2.全新世期间的 2 次冰进为新冰期(距今 3~ 4 ka)冰进与小冰期(16 世纪以来的冷期)冰进.

致谢:野外考察得到王飞腾博士、李慧林博士 以及喀纳斯景区管理部门的帮助与支持;样品的测 试分析得到中国科学院青海盐湖研究所赖忠平研究 员、张静然博士、张彪硕士的支持与帮助,在此一

34 卷

#### 并致谢.

# 参考文献(References):

- [1] Zhao Jingdong, Wang Jie, Shangguan Donghui. Sequences of the Quaternary glacial sediments and their preliminary chronology in the Tomur River valley, Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(4): 628-633. [赵井东,王杰,上官冬辉. 天山托木尔河流域第四纪 冰川沉积序列及其初步年代学[J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 628-633.]
- [2] Ou Xianjiao, Zeng Lanhua, Long Hao, et al. Applicability of OSL dating the quartz from the tills of last glacial in the Heng-duan Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(1): 110-117. [欧先交, 曾兰华, 隆浩, 等. 横断山地区末次冰期冰碛物石英光释光测年的适应性[J]. 冰川冻 ±,2011, 33(1): 110-117.]
- [3] Liu Gengnian, Li Yingkui, Chen Yixin, et al. Glacial landform chronology and environment reconstruction of Peiku Gangri, Himalayas [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(5): 959-970. [刘耕年, Li Yingkui, 陈艺鑫,等. 喜马拉雅山佩枯岗日冰川地貌的年代学、平衡线高度和气候研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(5): 959-970.]
- [4] Shi Yafeng, Cui Zhijiu, Su Zhen. The Quaternary Glaciations and Environmental Variations in China [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 2006: 1-618. [施雅风,崔之久,苏珍. 中国第四纪冰川与环境变化 [M]. 石家庄:河北科学技术出版社, 2006: 1-618.]
- [5] Shi Yafeng, Zhao Jingdong, Wang Jie. New Understanding of Quaternary Glaciations in China [M]. Shanghai: Shanghai Popular Science Press, 2011: 1-213. [施雅风,赵井东,王 杰.中国第四纪冰川新论[M].上海:上海科学普及出版社, 2011: 1-213.]
- [6] Zhao Jingdong, Shi Yafeng, Wang Jie. Comparison between Quaternary glaciations in China and the marine oxygen isotope stage (MIS): an improved schema [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(7): 867-884. [赵井东,施雅风,王杰.中国 第四纪冰川演化序列与 MIS 对比研究的新进展[J]. 地理学 报, 2011, 66(7): 867-884.]
- [7] Liu Chaohai, You Genxiang, Pu Jianchen. Glacier Inventory of China II: Altay Mountains [M]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica, 1982:1 -87. [刘潮海,尤根祥,蒲健辰.中国冰川目录 II: 阿尔泰山区[M]. 兰州:中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1982:1-87.]
- [8] Liu Chaohai, Wang Lilun. Traces of ancient glaciations and their division in the Quaternary at the drainage basin of Halasi River in the Altay Shan of China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1983, 5(4): 39-47. [刘潮海,王立伦. 阿尔 泰山哈拉斯河流域冰川遗迹及冰期的初步探讨[J]. 冰川冻 土, 1983, 5(4): 39-47.]
- [9] Cui Zhijiu, Yi Chaolu, Yan Jinfu. Quaternary Glaciations in the Halasi River catchment and its surroundings in the Altai Mountains in Xinjiang, China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1992, 14(4): 342-351. [崔之久, 易朝路, 严 竞浮. 新疆阿尔泰山喀纳斯河流域及其邻域第四纪冰川作用 [J]. 冰川冻土, 1992, 14(4): 342-351.]
- [10] Xu Xiangke, Yang Jianqiang, Dong Guocheng, et al. OSL dat-

ing of glacier extent during the Last Glacial and the Kanas Lake basin formation in Kanas River valley, Altai Mountains, China[J]. Geomorphology, 2009, **112**: 306-317.

- [11] Wang Lilun, Liu Chaohai, Kang Xingcheng, et al. Fundamental features of modern glaciers in the Altay Shan of China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1983, 5(4): 27-38.
  [王立伦,刘潮海,康兴成,等. 我国阿尔泰山现代冰川的基本特征——以哈拉斯冰川为例[J]. 冰川冻土, 1983, 5(4): 27-38.]
- [12] Lai Zhongping, Kaiser K, Brückner H. Luminescence-dated aeolian deposits of late Quaternary age in the southern Tibetan Plateau and their implications for landscape history[J]. Quaternary Research, 2009, 72: 421-430.
- [13] Zhao Jingdong, Lai Zhongping, Liu Shiyin, et al. OSL and ESR dating of glacial deposits and its implications for glacial landform evolution in the Bogeda Peak area, Tianshan range, China[J]. Quaternary Geochronology, 2012, doi: 10.1016/j. quageo. 2012. 03. 004.
- [14] Ou Xiangjiao, Xu Liubing, Lai Zhongping, et al. Potential of quartz OSL dating on moraine deposits from eastern Tibetan Plateau using SAR protocol[J]. Quaternary Geochronology, 2010, 5: 257-262.
- [15] Lai Zhongping, Brückner H. Effects of feldspar contamination on equivalent dose and the shape of growth curve for OSL of silt-sized quartz extracted from Chinese loess [J]. Geochronometria, 2008, **30**: 49-53.
- [16] Murray A S, Wintle A G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol[J]. Radiation Measurements, 2000, 32: 57-73.
- [17] Roberts H M, Duller G A T. Standardised growth curves for optical dating of sediment using multiple-grain aliquots [J]. Radiation Measurements, 2004, 38: 241-252.
- [18] Lai Zhongping. Testing the use of an OSL standardised growth curve (SGC) for De determination on quartz from the Chinese Loess Plateau [J]. Radiation Measurements, 2006, 41: 9-16.
- [19] Lai Zhongping, Brückner H, Fülling A, et al. Existence of a common growth curve for silt-sized quartz OSL of loess from different continents[J]. Radiation Measurements, 2007, 42: 1432-1440.
- [20] Prescott J R, Hutton J T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long term time variations [J]. Radiation Measurements, 1994, 23: 497-500.
- [21] Shi Yafeng, Yao Tandong. MIS 3b (54~44ka BP) cold period and glacial advance in middle and low latitudes[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(1): 1-9. [施雅风,姚檀栋. 中低维度 MIS3b(54~44ka BP)冷期与冰川前进[J]. 冰川冻土, 2002, 24(1): 1-9.]
- [22] Zhao Jingdong, Zhou Shangzhe, Liu Shiyin, *et al*. A preliminary study of the glacier advance in MIS3b in the western regions of China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(2): 233-241. [赵井东,周尚哲,刘时银,等. 中国西部山岳冰川 MIS3b 冰进的初步探讨[J]. 冰川冻土, 2007, 29(2): 233-241.]
- [23] Zhao Jingdong, Liu Shiyin, Wang Jie et al. Glacial advances and ESR chronology of the Pochengzi Glaciation, Tianshan Mountains, China[J]. Science China: Earth Science, 2010, 53

+

(3): 403-410.

[24] Xu Xiangke. Late Pleistocene glacial geomorphology and dating in Kanas River valley, Altai Mountains [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2010. [许向 科. 阿尔泰山喀纳斯河流域晚更新世冰川地貌与冰期序列测 年[D].北京:中国科学院研究生院, 2010.]

# New OSL Chronology of the Last Glaciation in Kanas River Valley, Altay Mountains, China

JIANG He-li<sup>1</sup>, ZHAO Jing-dong<sup>2</sup>, YIN Xiu-feng<sup>2</sup>, LI Zhong-qin<sup>1, 2</sup>, KANG Jian<sup>3</sup>, SUN Ji-zhou<sup>3</sup>

(1. College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou Gansu 730070, China;

2. State Key laboratory of Cryospheric Sciences, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering

Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China;

3. Administration of Kanas Scenic Spot, Burgin Xinjiang 836600, China)

Abstract: The Kanas River originates on the southern slopes of the Youyi Peak, the largest modern glaciation center in the Altay Mountains in China. Glaciers had advanced and retreated dramatically during the glacial-interglacial cycles in the Quaternary. Multiple moraine complexes were preserved in the headwaters of the Kanas River, recording a complex history of Quaternary glacial cycles and landscape evolution. In this study, two fluvioglacial deposits, which collected from the lateral moraines in the main U-shaped valley, were determined by optically stimulated luminescence (OSL) dating technique with single aliquot regenerativedose (SAR). It is determined that the ages are 27.  $2\pm 2$ . 0 ka (K-1) and 16.  $1\pm 1$ . 5 ka (K-2). Based on the principles of geomorphology and stratigraphy, the previous dating results (by <sup>14</sup>C, OSL) and the available palaeo-environmental data, five glacial advances have been confirmed in the Kanas River valley since the Last Glaciation. Three glacial advances have appeared during the last glacial cycle, corresponding to MIS 4, mid-MIS 3 and MIS 2. Two glacial advances occurred in the Holocene, which corresponded to Neoglaciation (the largest glacial advance in the last  $3\sim 4$  ka in West China) and the Little Ice Age (glacial advance in the cold period since the 16th century).

Key words: OSL dating; glacial geomorphology; Last Glaciation; Kanas River valley; Altay Mountains