

# 天山乌鲁木齐河源区冰缘地貌的 分布和演变过程\*

朱 诚 崔之久

(北京大学地理系, 100871)

**提要** 根据1985—1989年度的野外考察和定位重复测量、坑探、物探、砾向组构及地衣测年、室内分析等,总结出本区各类冰缘地貌空间分布特点和在发生学上的联系与转化;分析了基岩寒冻风化速率、倒石堆、岩屑坡、石冰川的分布、运动特点和发育年代;讨论了冻融和烛状冰型冻胀丘、泥流舌、石环和热喀斯特沉陷的分布、演变及成因;概述了沉积物室内分析得出的结果。

**关键词** 冰缘地貌 石冰川 地衣测年 砾向组构 冻疤

## 一、区域概况

乌鲁木齐河源区位于天山中部喀拉乌成山北坡,43°04′—43°08′N,86°48′—87°00′E。区内一般山脊海拔高度4100—4300m,主峰4486m,现代雪线4000—4100m,冰舌末端3650—3700m,多年冻土下界3200—3300m,森林带上限2600—2900m。

从地质上看,该区是一个主要由古生代花岗岩和变质岩系所构成的巨大复杂山体,在大地构造单元上属天山地槽褶皱系中段——天山褶皱带,因新构造运动抬升强烈,山势陡峻,深切沟谷发育。

该区属于大陆性山地气候,垂直分带性明显,低山带以下极为干燥,向上则气候逐渐转为冷湿,气温随高度的增大而急剧下降,但各地段的梯度值不同。据张金华、谢应钦测量表明<sup>[1]</sup>,其中受冬季逆温影响的地段(海拔1830—3000m)为0.33—0.37℃/100m;海拔3000—4000m处则为0.61—0.66℃/100m。在海拔3588m的大西沟气象站年均温为-5.4℃,1月平均气温-15.9℃,7月平均4.7℃,年降水量为430.2mm,主要在夏季6—8月,占全年的66%,而在海拔4000—4500m的山脊,年平均气温可达-8—12℃。3000m以上负温季节长达7—8个月。

## 二、冰缘地貌的分布特征

本区冰缘地貌现象丰富多彩,几乎包括了 Washburn<sup>[2]</sup>提出的绝大部分冰缘地貌类

\* 本课题属中国科学院兰州冰川冻土所天山站课题。在工作过程中得到黄茂桓、程国栋先生的指教;王愷、曲荣康同志协助做了粒度和粘土矿物分析,在此一并致谢。  
来稿日期: 1989年12月。

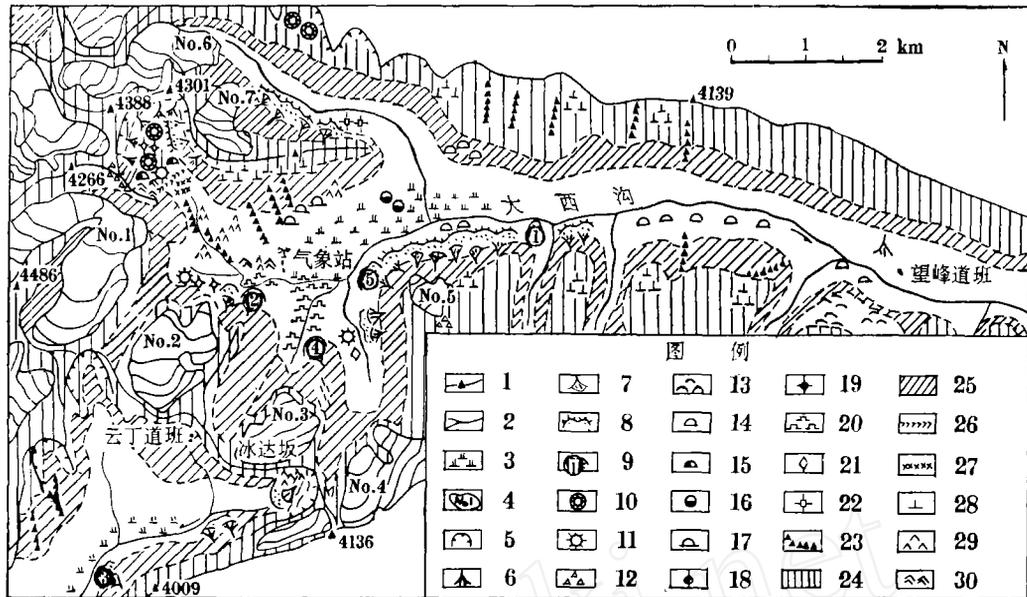


图1 天山乌鲁木齐河源区冰缘地貌图

Fig. 1 Distribution of periglacial geomorphology in the source region of Urumqi River on the Tianshan Mountain

- 1 山峰和山脊 2 河流 3 沼泽 4 现代冰川 5 冰斗和雪蚀洼地 6 岩屑锥 7 倒石堆 8 石冰川群  
9 单个石冰川 10 分选环 11 非分选环 12 石海 13 泥石流舌 14 泥流阶地 15 分选阶地 16 热融洼地 17 冰胀丘 18 分选网 19 非分选网 20 石铺 21 分选多边形 22 非分选多边形 23 石河 24 基岩山坡 25 岩屑坡 26 分选条 27 非分选条 28 冰缘岩柱 29 拔石及冻举基岩 30 基岩片状剥落

型。其分布(见图1)如下:

1. 坡度较陡的基岩裸露的北坡 从上往下依次主要发育有冰缘岩柱、石海、倒石堆(或岩屑锥)、石冰川。

2. 坡度较缓的基岩裸露的南坡(如空冰斗坎处) 顺坡依次主要发育冰缘岩柱、石海、岩屑坡、分选阶地、分选条网、分选环、石河(或石条)、季节性冻胀丘、石铺。

3. 坡积物成土作用明显的山坡(如望峰) 顺坡发育有冰缘岩柱、石海、泥石流舌、泥流坡坎、石条、非分选环和非分选条网。

4. 在谷底 顺谷发育有石铺、热喀斯特沉陷。

上述分布形式反映了本区冰缘地貌的以下内在分布规律:

1. 各种冰缘地貌类型在成因(发生学)上具有彼此间的内在联系。首先,主要类型都在冻土下界以上的地段内发育,其地质、地理条件基本相同。从物质来源看,它们最初都经历了基岩风化阶段。从横向上看,高处类型是组成低处类型的物质背景,低处形态是高处形态的演化。顺坡依次出现的类型序列反映了统一体内由低级(重力作用为主)向高级(冻融蠕流和冻胀作用增强)发展的形成过程。从纵向上看,海拔由高到低则反映了成土作用增强,基岩风化、块体运动以及冻融作用减弱的过程。

2. 不同序列的冰缘地貌类型(如陡坡与缓坡、岩石坡与土坡、北坡与南坡、坡上与谷

底)的分异只是表现了在不同空间和时间(即发育阶段)上的差异。石冰川的发育即是一例,由于受地形因素(坡度、坡向)、气候因素(气温、降雨、冻融频率)、地质因素(岩性产状)等空间和时间的影 响,它只在该区北坡或半阴坡(280°NW 左右)倒石堆下方的坡麓出现。

3. 不同序次的组合类型在一定条件下可以发生某些转化。具有平缓山顶的岩石坡虽然从上至下一般发育序列为冰缘岩柱-石海-岩屑坡-分选阶地-分选条网等,但如果山坡坡度 $>38^\circ$ 时,其下便出现倒石堆或岩屑锥。再如,位于阴坡或半阴坡的倒石堆、岩屑锥由于冬季受冷波传递影响较深,积雪或雪斑保留时间长,有利于较大冰体的保存,冰体的蠕动便使得这些倒石堆或岩屑锥转变为石冰川。而阳坡或半阳坡的倒石堆、岩屑锥则不然,由于日照较长、地温较高,不利于冰体保存,因此极少转化为石冰川,而只是向石铺直接转化。海拔因素亦有控制作用。在3500m以上(如空冰斗)石冰川并未直接转化为石铺,而是由分选阶地-分选条网-分选环-石河向石铺过渡。这就表明,本区冰缘地貌在发育中当某种类型在一般的序列中消失时,将在一定条件下以另一种形态在别处重新出现。

60年代以来,一些学者已开始注意到本区冰缘现象,并做了不少工作<sup>[3-4][11]</sup>。为使本区冰缘地貌研究逐步走向定量、定位观测和内部机制的探讨,1985年,作者在本区采用了仪器定点重复测绘、坑探测温取样分析、物探电测深、砾向组构量测和地衣测年等方法,获得了大量资料,现概述如下。

### 三、冰缘地貌的变化过程

#### (一) 基岩的寒冻风化过程

基岩寒冻风化是冰缘地貌发育的先期过程。本区岩性主要为:胜利达坂山脊和南坡为极易风化的绢云母石英片岩;空冰斗和谷底为坚而脆的硅质岩和花岗岩;达坡北坡和河源谷地为断裂和节理发育的眼球状片麻岩。其中,眼球状片麻岩、花岗岩片麻岩、闪长岩中几种主要矿物颗粒的膨胀系数相差较大(体积膨胀系数石英为0.00031,长石为0.00017)<sup>[3]</sup>,所以当温度剧烈变化时,这些矿物差别胀缩,极易引起岩石破碎。

从冰缘作用角度看,气温在0℃左右波动时冻融最强烈,对岩石的劈裂作用也愈显著。根据对海拔3588m的大西沟气象站1985—1988年气象资料统计,气温在0℃上下日数平均达130d/a,即本区全年近 $\frac{1}{3}$ 的天数均受冻融交替的影响。尤其当夏季多雨季节来临时,节理裂隙密集的岩体充水,加之频繁冻融,更加剧了基岩的崩解过程。

作者在本区共设5处基岩剥蚀速率观测点和1处基岩冻胀观测点。

观测表明,全长91.5cm的空冰斗,WR2板岩观测点在1985年共量得裂隙3处,一年后发现增加2道,其中一道宽达64cm,可见此处基岩风化剥落速度之惊人。还发现多数裂隙在扩张崩解的同时也有收缩,一年内有13处扩张,9处收缩,扩张量共3.9cm,收缩量共1.6cm;在WR4(见照片1)即使宽达70cm以上的裂隙也有收缩(如1985年宽

1) 邱国庆等,天山站附近高山冻土与冰缘现象的一些新资料,1981。

72cm, 1986 年重测为 71cm)。类似现象还出现在基岩冻胀观测点, 如 FH4 一年内有 3 处岩块突起高度增大, 另 3 处却减小, 突起岩块平均增长 1.5cm, 降低 0.5cm, 以上数据反映岩石在风化中裂隙的扩张和冻胀突起占主导地位。

### (二) 倒石堆的运动特点

观测资料表明, 位于阳坡的倒石堆岩屑年运动速度 (146cm/a) 比阴坡(73cm/a)要快<sup>[5]</sup>。

就 1985—1986 年度观测而言, 本区倒石堆比国外某些地区倒石堆运动速度要快, 如加拿大落基山脉倒石堆运动速度为 6—111cm/a, 挪威北部为 22cm/a<sup>[2]</sup>, 科罗拉多前缘山脉仅为 8—10cm/a。<sup>[6]</sup>

### (三) 岩屑坡及其活动特征

岩屑坡是基岩坡上岩屑组成的席状体。其坡度 $>10^{\circ}$ , 顺坡延伸, 岩屑长轴平行坡向, 这是岩块顺坡运动的一种特殊表现方式。

本区岩屑坡极发育, 在较缓的基岩坡(30—36 $^{\circ}$ )尤其是阳坡分布广泛, 其规模往往可从山脊一直延伸到谷底(见照片 2)。本区岩屑坡还具有如下特点: 即当其顺坡呈狭窄线状延伸时, 常演变为石河(如空冰斗坎附近), 当坡度较缓时则为石海<sup>1)</sup>(如达坂东坡坡顶)。S. E. White<sup>[6]</sup> 曾发现科罗拉多前缘山脉的岩屑坡也具有这种在一定条件下的转变现象。

作者在本区共设 10 处岩屑坡运动速率观测点。观测方法是在其两侧稳定基岩上设控制点, 量测控制点间涂漆岩屑的年度位移量。观测结果证明, 本区阳坡(或半阳坡)位移量 9.6cm/a; 阴坡(或半阴坡)7.2cm/a, 全区平均为 8.1cm/a。另外, 我们还观测了岩屑坡在 4 号冰川西侧废弃公路不同坡向地段的堆积量。在半阴坡(坡向 65 $^{\circ}$ NE), 由于气温在 0 $^{\circ}$ C 左右波动的频率相对较小, 寒冻风化作用相对较弱, 风化岩屑来源较少, 故岩屑坡堆积量不如阳坡。挖坑观测此路段废弃 25a 来的岩屑坡掩埋厚度仅 5cm。而废弃公路半阳坡(坡向 195 $^{\circ}$ SW), 挖探得知其 25a 岩屑堆积厚度达 32cm, 且岩屑平均粒径也远远大于阴坡(见照片 2)。1980 年, 李树德等<sup>[4]</sup>曾根据胜利达坂废弃公路三个地段 20 年内被岩屑掩埋的程度推算出岩石风化剥蚀速率为 0.0229m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·a, 山坡后退的速率在阳坡为 16mm/a, 阴坡为 4.9mm/a, 认为此数值比欧洲有关数值高 10 倍。

### (四) 石冰川的分布、运动和发育的年代特征

本区石冰川有十多条, 几乎全部由倒石堆或倒石堆前缘堤演化而来, 在分布上可单独或成群出现。成群的(见图 1)如大西沟南侧谷壁、罗卜道沟南侧谷壁以及空冰斗东南侧。其宽一般为 300—400m、长 30—50m、高 20—40m。单独出现的石冰川具有下述特点: (1)一般长 40—70m、宽 100—150m、前缘高 30—40m; (2)前缘坡度较大(30 $^{\circ}$ —41 $^{\circ}$ —60 $^{\circ}$ ), 从顶到前缘坡有一明显坡折, 进而演变成前缘反倾坡; (3)有的石冰川坡脚延伸出一个因挤压而成的翘起平台或顶部出现槽和脊。这些特征形态是原始倒石堆所不应具有的(照片 3)。

根据定点重复测绘并结合砾向组构量测<sup>[7]</sup>得出本区五条主要石冰川的运动特征是:

1) A. L. Washburn 1980 年提出, 如果岩屑坡这种席状体的坡度 $\leq 10^{\circ}$ 时可称为石海。

(1)位于总控水文点下游 250m 的 RG1 石冰川(海拔 3 200m),前缘年运动速率仅 1—2 cm,根据其表面植被增多现象看,它将趋于稳定。(2) RG2 石冰川前缘顶部 37 块巨砾每年运动约 11cm。RG3 各测点平均沿主流向前进 45cm/a (图 2), RG4 为 49cm/a, RG5 为 15.5cm/a。(3)从卸载量和堆积速率看, RG4 石冰川前缘坡脚为 1960 年废弃的公路路面,原路面宽 5.5m,现因路面上侧石冰川运动和岩屑覆盖使路面宽仅 4m,25 年内推移 1.5m,石冰川前缘平均每年向前推进 6cm。1960—1985 年间总卸载量为 1 764m<sup>3</sup>,卸载量为 70.56m<sup>3</sup>/a,单位卸载量为 0.47m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·a。

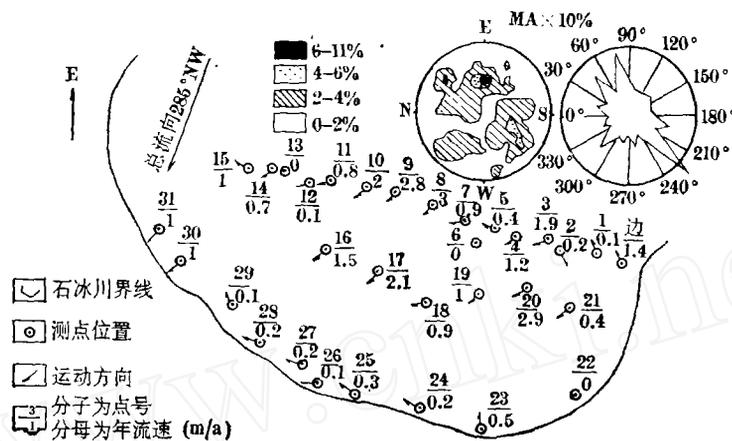


图 2 RG3 石冰川 1985—1986 年各测点运动方向、速率及表层 (0—1.4m) AB 面砾向组构玫瑰图

Fig. 2 Moving direction, rate, surface debris fabric and rose map of rock glacier No. 3 during 1985—1986

根据 RG2 石冰川前缘中部 20m 范围内岩屑运动较快,而上下两部分岩屑运动较慢,且 RG3 石冰川表层组构最大主密部(朝向 75°NE)与石冰川主流向相反的事实(图 2),作者推测石冰川存在层间差异运动,即主动方是介于表层和冻结底层的冻结砂砾石层,被动方是表面松散岩屑的活动层,当中部冻结岩屑层沿剪切面逆冲前进时,拖拽其上松散岩屑作局部滚动、滑动,表现为既有前进下降又有后退抬升等复杂现象<sup>[9]</sup>。

由 R.E. Beschel 首创的地衣测年法目前已成为全新世测年的六大方法之一<sup>[9]</sup>。其中,圆形鳞壳状石黄衣 (*Xanthoria elegans*, 照片 4) 是用于测年有效的世界种地衣。在 RG2 石冰川前缘长有大量近圆形石黄衣,作者量取了巨砾上 50 处地衣的形态数据,其长轴直径平均 81.5mm,短轴平均 62.9mm。根据陈吉阳<sup>[1]</sup>按后峡墓地地衣测量资料间接推算获得的大西沟地区石黄衣生长曲线(图 3),可量得此地衣生长期距今约 150a。又由于地衣在基物上稳定后着生还需要一段时间(地衣侵入期),按陈吉阳推算本区海拔 3 700m 处石黄衣侵入期约 30a,可知 RG2 石冰川至少已存在 180aBP 左右。至于石冰川的最早形成年代可从<sup>14</sup>C 资料得以证实。由于本区 90% 石冰川在层位上是覆盖在山北组冰碛垄

1) 陈吉阳,天山天格尔第二峰地区全新世中后期冰川变化的研究,1984。

表面之上,而冰碛垄 2m 深处的物质 $^{14}\text{C}$  年代为  $5\,680 \pm 150\text{aBP}$  及  $4\,080 \pm 150\text{aBP}$ <sup>1)</sup>;冰碛垄钙膜<sup>2)</sup>的 $^{14}\text{C}$  年代  $3\,949 \pm 141\text{aBP}$ , 据此可推测本区石冰川的形成年代至少应晚于上述冰碛垄的年代。

### (五) 季节性冻胀丘的特征和成因

季子修<sup>[3]</sup>和邱国庆等曾对本区冻胀丘的分布特点作过报道。冻疱(Frost blister)一词最早由 Muller<sup>[11,12]</sup>提出,意指形态类似疱状的季节性冻胀丘。本区的冻疱(照片 5)开挖前为一完好的有草被生长的浑圆土丘,开挖后可见白色厚层穹窿状冰体和空洞。此处海拔 3 500m,坡向  $153^\circ\text{SE}$ ,地面坡度  $30^\circ$ 。此冻胀丘高 1.2m,纵剖面长 2m,横向直径(自东向西)3.8m。有 5 层构成:表层为厚 20cm 的褐色高山草甸土层;第 2 层为厚 12cm 的穹窿状块冰层(冰温  $-8^\circ\text{C}$ ,含少量气泡);第 3 层为直径约 1.5m 的穹窿形空洞;第 4 层为松散砾石层;第 5 层为含粒状冰冻土层。

作者观测了设置在此冻胀丘顶部的 5 根各长 0.5m (直径 8mm) 的细钢筋在 6 月 4 日至 6 月 16 日期间的变化,发现各钢筋均向冻丘中心作向心状位移,位移量为 6—18 cm。同时,各钢筋均随冻丘顶部向下塌陷。此冻胀丘在 12 天内发生较大变化,除自然因素(如地、气温升高)外,与人为开挖剖面使地下冰暴露从而加速其热融导致坍塌有关。

烛状冰(Candle ice)型冻胀丘位于冻疱型冻胀丘正下方 15m 处,长 8m、最宽处 4m,顶部有一纵贯全剖面的长裂隙,裂隙最宽处达 17cm,且主裂隙四周尚有数条呈树枝状的较细分支裂隙(照片 6)。开挖表明此冻胀丘为 4 层结构:即表层为褐色高山草甸土层;第 2 层为厚 30cm 的烛状冰层(烛状冰直径 10—22mm,见照片 7);第 3 层为厚 25cm 的块状冰(照片 8);第 4 层为含粒状冰的冻土层。观测发现,设置在此冻胀丘顶部的 11 根测桩在 6 月 4 日至 6 月 16 日期间均向开挖的剖面方向位移并倾斜,这亦是人为开挖造成剖面处热融下陷加快的缘故。

据附近大西沟气象站工作人员介绍,当每年大雪封山,大西沟各处季节性流水中断后,此处冻疱型冻胀丘便逐渐隆起,顶部裂隙处有自流水流出并成为气象站工作人员冬季食用水的主要来源,冬末则流水中断,夏季来临时冻胀丘便逐渐融陷消失。

成因调查发现,这两处冻胀丘均位于阳坡坡脚,上方有渗滤的融雪水和雨水作为开敞型补给源,且地表有较厚细粒土(亚粘土),底部的基岩(辉绿岩)和冻土是天然的隔水底板,所以该处具有良好的成冰冻胀条件。相反,在本区阴坡因坡面组成物质为粗大的风化岩屑,缺乏细粒物质,不利于水分保存,所以不具备发育冻胀丘的条件。

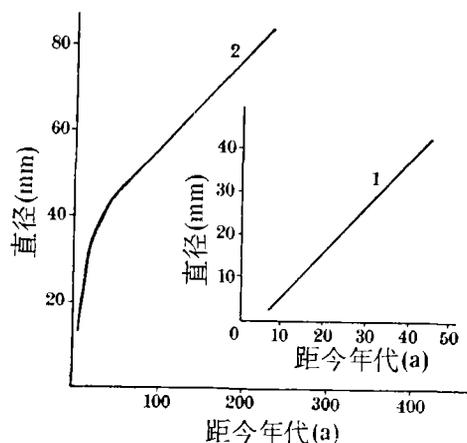


图 3 大西沟地区及后峡的石黄衣生长曲线(据陈吉阳绘)

Fig. 3 Growing curves of *Xanthoria elegans* in DaXigou region and HouXia (by Chen Jiyang)

1) 陈吉阳,天山天格尔第二峰全新世中后期冰川变化的研究,1984。

就冻疱型来说,其地下冰应属开敞性水流造成的侵入冰 (Intrusive ice),在水的形成和迁移过程中应是冻土上方地下水(重力水)在冻结封闭系统中形成静水压力而使地表隆起。其形成和演变过程<sup>[2]</sup>: ①在夏季期间,因活动层充分发展,渗入活动层的地下水顺畅流;②到了秋季,因活动层开始冻结,双向冻结中的活动层逐渐限制了地下水的畅流;③严冬季节,活动层的某些部位(尤其是地形较缓地方)冻结深度首先达到冻土上限,从而使上方流水在活动层中受阻,静水压力使地表隆起成冻疱(若有裂隙则有自流水出现);④由于地温滞后于气温的季节变化,故直到冬末活动层才完全冻结。在静水压力使冻疱开裂后,一些未冻结的水从裂隙中冒出,在冻疱表面流经之处和低洼处形成冰椎 (Icing),残留在活动层中的水形成地下冰,偶然情况下当冻疱中液相水流出时,水流经过之处使冻胀张裂隙又重新冻结便在核部形成空洞。

就烛状冰型冻胀丘而言,其地下冰应属侵入冰和冰椎冰 (Icing ice) 混合型。其形成过程大体与冻疱相似,不同之处在于因其地形较平坦,且水分经上方冻疱截流有明显损耗,所以其静水压力不如冻疱明显,隆起幅度也小,没有冻疱中的空洞。但由于其地形较低平,一旦出现冻胀张裂隙,内部未冻结水即长时间不断涌出地表。这时,由于水面与大气直接接触,故在严寒的温度下,一方面流出地表的水在表面形成冰椎;另一方面,未来得及流出地表的水逐渐沿冒水的垂直于地表的方向冻结成烛状和柱状冰体(亦属于冰椎型冰),而此冰体之下则为冻结的侵入冰(即块状冰体)。

#### (六) 泥流舌

本区泥流舌多出现于 2 900—3 350m 之间的多年冻土下界边缘带中。作者在此共设 4 处泥流舌观测点,其运动特征可以 MM8 泥流舌(照片 9)为代表,它位于望峰道班南侧上槽谷的平台上,海拔 3 350m,坡向 50°NE,坡度 28°。对 15 个测点定位重复测量表明,其平均水平前移量和下降量分别为 0.25m/a 和 0.09m/a。

#### (七) 分选环

在海拔 3 800m 的空冰斗内分布有很多分选环。坑探发现一直径 1.8m、坡向 162°SE、坡度 7°的石环,7 月 23 日融化深度为 0.85m,若按 7 月底融化深度占 80% 的一般规律计,其冻土上限约为 1.06m 左右。坑探还发现其四周石块层最大延伸深度为 35cm 左右。根据设在石环四周巨石上的控制点量测,发现凡是靠近流水处的石环,其中心均在下沉。如 FH2-1 石环中心下沉 0.6cm/a, FH2-2 石环(照片 10)中心平均下沉 1cm/a;而在地势高的地方则出现中心隆起的石环。如 FH3-1 石环中心平均抬升量 2cm/a, FH3-2 中心为 1cm/a。这与流水处地下冰体易融化下陷有关。

#### (八) 热喀斯特现象

在本区海拔 3 450m 的乌库公路 115km 旁,有一热喀斯特沉陷洼地(照片 11)。它是因道班工人修路挖坑取土后使冻土及地下冰融化,地表草皮及表土失去支承而在自重作用下逐年溯源塌落而成。作者以联线方位 58°NE/238°SW 的公路旁两根埋入冻土层中的电线杆做控制点,共设 10 根测桩。年度重复测量发现,各测点顺塌陷沟下游方向位移 12.5cm/a,塌陷量为 3cm<sup>3</sup>/a。这表明本区在自然和人为影响下,冻土的退化已十分明显。

## 四、沉积物特征

经广泛调查并采样进行粒度和粘土矿物分析, 现已获大量组成本区冰缘地貌沉积物的资料。具体表现在: (1) 地表层 (0—20cm), 主要是各类基岩就地风化崩解的岩屑, 或由冰川搬运堆积和谷壁崩塌以及小规模雨雪水泥石流组成的坡积冲积物。在阴坡多属于巨砾或碎石土, 在阳坡和谷底则多有草被发育的腐殖质层。(2) 在深 20—90cm 左右多为棕褐色角砾土层(季节融化层)。(3) 0.90—1.5m 以下(因地而异)为冻结角砾土层。

根据在空冰斗 12—98cm 深处采集的沉积物样品粒度分析看, 其粒度参数从地表往下分别是: 平均粒径  $M_z$  为 3.36—4.83 $\phi$ , 标准离差  $\sigma_1$  为 4.1—4.05, 分选系数  $S_0$  为 11.56—5.89, 偏度  $S_k$  为 -0.34—-0.41, 尖度  $K_g$  为 0.7—1.0。以上数据即反映了此处较粗的沉积物平均粒径, 也反映了沉积物在总体上属福克<sup>[13]</sup>分选极差型, 但在下部冻结面附近分选性比上层要好。

另据在 RG5 石冰川 1.91m 深处和空冰斗石环 80cm 深处采样所做的粘土矿物 x 衍射分析看, 前者主要成分是伊利石 (64.7%)、绿泥石 (25.8%)、高岭石 (6.6%) 和蛭石 (2.9%); 后者为伊利石 (62.5%)、绿泥石 (32.3%) 和蛭石 (5.2%)。这些以伊利石为主的粘土矿物组合特征反映了本区长期所处的物理风化为主的环境, 以及较老的、易风化的变质岩和岩浆岩岩屑在寒冷冰缘气候下只经过短程搬运的事实。

## 参 考 文 献

- [1] 邱国庆等, 中国天山地区冻土的基本特征, 第二届全国冻土学术会议论文集, 1983, 21—22。
- [2] Washburn, A.L., *Geocryology*, Edward Arnold, 1979, 2—277。
- [3] 季子修, 天山中部现代冰缘作用, 冰川冻土, 1980, 2(3), 5—6。
- [4] 李树德等, 天山乌鲁木齐河源胜利达坂岩石风化速率初探, 冰川冻土, 第 3 卷(增刊), 1981, 114—118。
- [5] 朱 诚等, 天山乌鲁木齐河源区倒石堆浅论, 山地研究, 1988, 6(4), 203—209。
- [6] White, S.E., *Alpine mass movement forms, classification description, and significance*, *Arctic and Alpine Research*, 1981, 13(2), 127—137。
- [7] 朱 诚, 从砾石组构看天山叶状石冰川的表面运动特征, 冰川冻土, 1989, 11(1), 83—87。
- [8] 崔之久等, 天山乌鲁木齐河源区石冰川的温度结构类型与运动机制, 科学通报, 1989(2), 134—137。
- [9] Beschel, R.E., Lichens as a measure of the age of recent moraines, *Arctic and Alpine Research*, 1973, 5(4), 83—87。
- [10] 朱 诚等, 天山乌鲁木齐河源区季节冻胀丘的特征, 冰川冻土, 1990, 12(1), 55—62。
- [11] Muller, S.W., *Permafrost, or permanently frozen ground and related engineering problems*, United States Geological Survey Special Report, Strategic Engineering Study, 1945, 231。
- [12] Clark, M. J., *Advance in Periglacial Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd., Printed and bound in Great Britain, Chichester, 1988, 203—225。
- [13] 任明达等, 现代沉积环境概论, 科学出版社, 1981, 14—16。

# THE DISTRIBUTION AND EVOLUTION OF PERIGLACIAL LANDFORMS IN THE SOURCE REGION OF URUMQI RIVER ON THE TIANSHAN MOUNTAIN

Zhu Cheng Cui Zhijiu

(Department of Geography, Peking University, 100871)

**Key words** Periglacial landform; Rock glacier; Lichenometry; Debris fabric; Frost blister

## Abstract

This paper is designed to discuss the periglacio-geomorphic distribution and evolution in the source region of Urumqi River on the Tianshan Mountain on the basis of repeated measurements and investigation in the field during the period of from 1985 to 1989. The major conclusions are as follows.

1. This area's frost weathering is violent. Rock crack has an average frost enlarging rate of 1.2cm/yr, and rock slope has a weathering retrograde rate of 1.1cm/yr.

2. A diversity of periglacio-geomorphic types was discovered in the study area. The series of periglacial tor—block field—talus (or scree)—rock glaciers is formed orderly on the steep rocky slopes. The series of periglacial tor—block field—block slope—sorted steps—sorted nets—sorted circles—block slope—sorted steps—sorted nets—sorted circles—block streams—seasonal frost mounds—stone pavements is formed orderly on the gentle rocky slopes. The series of periglacial tor—block field—gelifluction lobes (or steps)—sorted stripes—nonsorted circles and nets is formed orderly on the soil forming slopes. Stone pavements and thermokarst hollows can be found at the smooth valleys. All forms are transformable and related with each other in spatial distribution and genesis.

3. Talus movement is 146cm/yr on average on southward slope, but 73cm/yr on northward slope. The average rate of the downward movements of debris is 8.1cm/yr on block slopes.

4. Besides individual tongue-shaped rock glacier, most of the glaciers are lobate rock glaciers in the area. They belong to talus-type rock glaciers (or protalus rampart-type rock glaciers) in origin. Their average movement is 30.3cm/yr. According to lichenometry,  $^{14}\text{C}$  age and sedimentation analysis, they are formed during 10000—180 years BP (from the end of Upper Wang Feng Stage to the Little Ice Age).

5. Frost blister type and candle ice type seasonal frost mounds are found in the region. The former can be divided into 5 layers, namely, surface alpine meadow soil, domelike massive ice, empty dome, loose debris as well as permafrost layer with particulate ice; the latter can be divided into 4 layers, namely, surface alpine meadow soil, candle ice, massive ice and permafrost layer with particulate ice. Their growing mechanisms are that the freezeback of the active layer constricts suprapermafrost ground water circulation and results in high hy-

draulic potentials which either cause overlying sediments to form a frost blister, or force water to move to the ground surface along thermal contraction cracks to form a mound of candle ice.

6. The mean velocity of gelifluction lobes is 25 cm/yr.

7. Stone circle can be divided into the low center type with a settling rate of 0.6—1 cm/yr and the high center type with a lifting rate of 1—2 cm/yr.

8. Thermokarst settlement resulted from human influence there has an average sinking rate of 3 cm/yr and a horizontal displacement of 12.5 cm/yr.

9. The features of sediment in the periglacial region are as follows: (1) surface layer (0—20 cm) main substance is weathering debris; (2) 20—90 cm brown brecciated ground layer (seasonal melting layer); (3) below 0.9—1.5 m, frozen brecciated ground. Main clay minerals are illite (62.5—64.7%)—chlorite (25.8—32.3%)—kaolinite(0—6.6%)—vermiculite (2.9—5.2%). A fact is confirmed by this information that the area has a physical weathering environment mainly, and the debris are transported only short distance under the cold periglacial climate.

### 图 版 说 明

plate explanation

照片 1 WR4 眼球状片麻岩片状剥落观测点

Photo 1 Observational point of slice-shape peeling of eyeball-shape gneiss

照片 2 废弃 25 年的公路面被石流坡岩屑掩埋的现象

Photo 2 Highway surface (abandoned 25 years ago) is burying by debris of the block slopes

照片 3 RG2 石冰川(箭头处为其前缘坡顶转折端)

Photo 3 Rock glacier No. 2 (arrow is turning ridge of its top of front slope)

照片 4 RG2 石冰川前缘表面的石黄衣(箭头处)

Photo 4 Lichen (arrow) on the surface of rock glacier No. 2

照片 5 空心穹窿式冻胀型冻胀丘(箭头处为开挖后所见的白色冰体和空洞)

Photo 5 Hollow-domelike frost blister after digging (arrow is white ice body and cavity)

照片 6 烛状冰型冻胀丘

Photo 6 Candle ice type frost heaving mound

照片 7 烛状冰型冻胀丘中的烛状冰(箭头处)

Photo 7 Candle ice (arrow) in the candle ice-type frost heaving mound

照片 8 烛状冰型冻胀丘中的块状冰

Photo 8 Massive ice in candle ice type frost heaving mound

照片 9 MM8 泥流舌近景

Photo 9 Gelifluction tongue No. 8

照片 10 靠近流水线的 FH2-2 石环

Photo 10 Stone circle No. 2—2 beside water flowing line

照片 11 乌库公路 115km 旁的热喀斯特沉陷

Photo 11 Thermokarst settlement beside Urumqi-Kuche Highway (at 115 Km)

朱 诚 崔之久：天山乌鲁木齐河源区冰缘地貌的分布和演变过程  
Zhu Cheng Cui Zhijiu: The Distribution and Evolution of Periglacial  
Landforms in the Source Region of Urumqi River on the Tianshan  
Mountain

图版 I

Plant I

