

天山乌鲁木齐河源空冰斗中分选环的观测与研究^{*}

熊黑钢 刘耕年 崔之久

(新疆大学地理系) (北京大学城市与环境学系)

提 要: 本文研究了天山乌鲁木齐河源空冰斗中不同发育阶段的分选环的特征和同一发育阶段分选环的差异。对各阶段的分选环进行了形态、粒度、含水量、冻胀情况、砾石分选、组构以及用木桩垂直打入地下的观测和分析。

主题词: 分选环 天山 冻胀

高山区夏季无冰雪覆盖的地方处在冰缘环境中,地表发育了各种类型的冰缘地貌。分选环是其中的主要类型。不同发育阶段的分选有不同的特征。确定不同发育阶段分选环的特征,对了解高山区的小气候和地貌过程是很重要的。本文是在1988年夏到1991年夏野外工作的基础上,通过对比研究同一空冰斗内,相距不远的分选环,探讨不同发展阶段分选环的特征。

1 区域概况

乌鲁木齐河发源于天山喀拉乌成山的北坡,全长约150km。河源区山势陡峭,山峰海拔一般为1,000—4,400m,山巅终年白雪皑皑,冰川发育。现代雪线高度为海拔3,950—4,200m。空冰斗位于河源北,面积约1.5(km)²,斗底高度3,820—3,950m,朝向东南(图1)。据空冰斗口处气象观测点1985—1988年气象资料统计,年平均气温为-7.3℃;最冷月(1月)平均气温为-17.3℃;最热月(7月)平均气温为3.3℃;年平均降水量是368.1mm。空冰斗中发育了分选环、分选条、分选网、分选多边形,几乎包括了Washburn A L^[1]分类中的全部分选形态。其中,大小不一,形态各异的分选环发育最为典型。由于所处部位、海拔高度、发育时期不同,其发育程度有明显的差异。它们分布在海拔3,820m、3,880m、3,950m的三个不同高度。为叙述方便,我们分别称之为下、中、上分选环。各分选环的基本情况见表1。

* 本文1992年6月21日收到,1993年5月6日收到修改稿。

本文系国家自然科学基金(青年)基金和天山站基金资助项目。野外工作得到冰川站刘潮海先生,北京大学刘岳峰、李英个人力协助,谨此致谢。

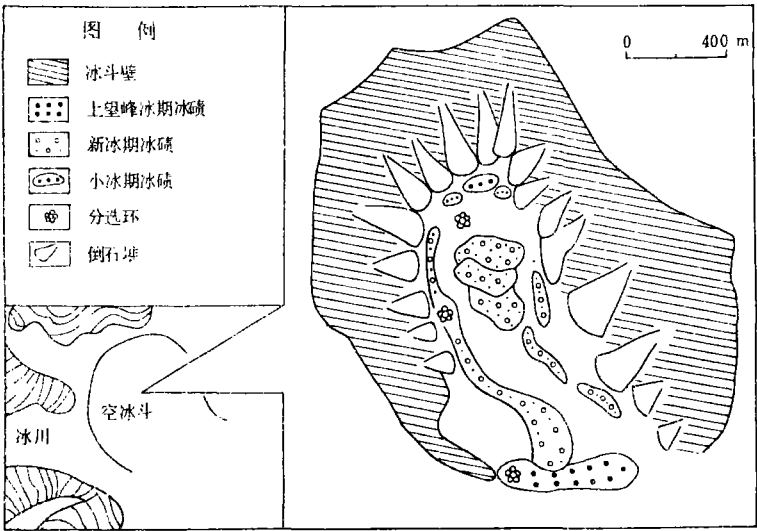


图 1 空冰斗中分选环的位置图
Index map of sorted circle in empty cirque

表 1 空冰斗中不同分选环的情况
Conditions of the different sorted circles in empty cirque

名称	高程(m)	该处冰碛时代 *	直径(m)	形态	发育地点	环心情况
上分选环	3,950	16—19 世纪	1—5	形似馒头状	空冰斗后部	无植物
中分选环	3,880	2,000— 3,500B. P	2—5	中心稍高	空冰斗中部	分选环和 多边形土
下分选环	3,820	10,000— 20,000B. P	1—3	边缘高	空冰斗口	小分选环 植物覆盖

* 据崔之久[2], 王靖泰[3]

2 砾石统计

分选环是在反复冻融过程中逐渐形成的。不同发育阶段的分选环经历冻融分选作用的时间长短不一,分选程度就有所差异。可用三个砾石统计指标来确定分选的发育和分选程度。第一,分选环中心砾石的平均粒径(Dc)与边缘砾石平均粒径(Dr)的比值,即 $P = Dr / Dc$ P 值越大,表明分选和发育程度越好。第二,分选环中心砾石粒径的方差(S)与平均值(X)的比值,即 $F = S / 100 \times X$ (表 2)。F 可以看作是代表分选程度的一个参数,该值越大,表明分选程度越差。第三,边缘砾石 ab 面与分选环相切的砾石个数(A)占砾石统计总数(Z)的百分比,即 $Q = A / 100 \times Z$ 。Q 值越大,分选环的成熟度和分选性越好。以上各种指标皆由 100 块砾石的统计中算出(表 2)。

从表 2 可以看出,从上分选环至下分选环,P 从 2.5 增加到 12.5;Q 增加了百分之 17;而中心砾石粒径的方差与平均值的比值 F 明显减小了。这三项砾石统计结果均表明由上

分选环至下分选环,随分选程度逐渐增强,发育成熟度也增大。

表 2 三个不同地点分选环的砾石统计参数

Statistic paraments of stone of sorted circle in three different places

名称	F	P	Q	高程
上分选环	5.57	2.5	19	3.950
中分选环	4.96	6.0	60	3.880
下分选环	2.82	12.5	66	3.820

同一地点分选环在沿着物源方向上发育程度是一种渐变的系列,即愈靠近物源,分选环发育程度愈低,反之则高。在中分选环处,我们量测了距倒石堆不同处分选环的变化(表

表 3 中分选环处随距离的增加分选环的变化

Change of sorted circle with a increase distance in middle sorted circles

分选环编号	距倒石堆 的距离(m)	直径(m)	P	中心与边缘 的高差(cm)	环心情况
1	5.0	5.25	0.32	25	
2	9.5	4.5	0.60	20	
3	11.5	5.6	0.79	17	
4	18.0	5.2	1.41	13	多边形土
5	21.5	3.6	1.41	10	小分选环多边形土
6	24.5	2.8	1.57	0	小分选环多边形土
7	26.5	2.5	3.44	0	小分选环多边形土

3)。数据表明,随着与物源距离的增加,分选环中心砾石变小,边缘砾石变大,P 值增加了 10 倍多。而分选环中心与边缘的高差逐渐减小;分选环中心逐渐出现小型石环和、多边形土。这些事实都表明,分选环发育和分选程度越来越好。从野外迹象和自然逻辑推断,远离倒石堆的地方,地面相对平坦,细颗粒物质含量高,保持水分的能力强。土体中充足的水易受冻融作用影响,分选环形成速度快。而靠近倒石堆的地方,与之相反。

3 冻胀观测

从 1990 年夏季起我们采用了三种不同方法在下、中二处分选环布置了观测点,测量冻胀。首先,选用 15 根直径 3.5cm,长度为 25cm 的木桩,分别布设在同--分选环的不同部位(图 2),以观测直径、长度相同的木桩在分选环不同部位的冻胀情况。其次,选用长度为 25cm,直径变化在 1×1—6×6cm 的 6 根不同木桩,分别打入规模相近的 6 个不同分选中心。探讨冻胀对长度相同、直径不同的木桩作用的大小。最后,将 8 根直径为 3.5cm,长度 5—40cm 的木桩,分别设在规模相近的 8 个分选环中心,了解冻胀对不同深度的木桩和分选环发育的影响。一般,地表以下 40cm 的季节融化层活动最为强烈,故我们选定最长的木桩为 40cm,观测精度为 1mm 或更精确。

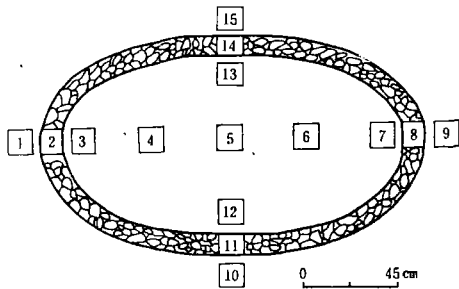


图 2 木桩编号及其在分选环上的位置

Position and numbers of woodeu stake in sorted circle

为了更好地讨论同一分选环边缘与中心冻胀的关系,我们把用第一种方法取得的观测资料分为 4 组:(1) 中心桩;(2)内缘桩;(3)外缘桩;(4) 边缘桩(表 4)。数据表明,中心桩活动最为强烈,边缘桩最弱。从 1990 年 7 月 6 日—1990 年 8 月 20 日,中心桩平均隆起量是边缘桩的 22.65 倍;而在 1990 年 8 月 20 日—1991 年 8 月 14 日期间是边缘桩的 1.3 倍。平均隆起量总的趋势是中心桩>内缘桩>外缘桩>边缘桩,这充分反映了分选环中心垂直冻胀最强,向边缘逐渐减弱。此外,分选环各边缘的活动情况也有很大的差异(表 4)。在分选环西侧的木桩上升最快,而南侧的木桩上升最慢。在两次观测中,前者的平均上升量分别是后者的 2.15 倍和 1.83 倍。这些差异可能与分选环不同部位的水分和粒度状况有关。

表 4 下分选环不同部位木桩的隆起量

Heave of wooden stakes at different position of lower sorted circles

观 测 日 期	不同部位木桩的比较				各侧木桩的比较			
	中心桩 (4,5, 6)	内缘桩 (3,12, 7,13)	外缘桩 (1,10, 9,15)	边缘桩 (2,11, 8,14)	北侧桩 (7,8, 9)	东侧桩 (10,11, 12)	南侧桩 (1,2, 3)	西侧桩 (13,14, 15)
1990. 7. 6	0	0	0	0	0	0	0	0
1990. 8. 20	5. 3mm	4. 0mm	4. 8mm	2. 0mm	4. 3mm	3. 7mm	2. 0mm	4. 3mm
1991. 8. 14	39. 2mm	37. 0mm	29. 5mm	30. 0mm	37. 8mm		23. 5mm	43. 0mm

在 1990—1991 年期间,5×5cm 直径的木桩隆起了 33mm,1×1cm 直径的木桩隆起了 67mm(表 5)。它表明在分选环的中心,直径小的木桩上升的快。这与较小的砾石在冻融分选过程中首先上升到地表的情况是吻合的,但冻胀差总趋势不很明显。这可能与下分选环

发育时间长,较为成熟,活动性不强有关。

从表 5b 可以明显看出,愈接近地表,木桩上升愈快,活动性愈强。活动最强烈者在 25cm 以上的表层。1991 年 8 月 14 日观测时,该点长度 $\leq 15\text{cm}$ 的三根木桩全部向上升出,倒在地表。在 1990 年 8 月 20 日至 1991 年 8 月 14 日期间,长度为 20cm 的木桩隆量是 122mm,40cm 长的木桩是 45mm。前者是后者的 2.7 倍多。这与在其它地区研究得出的一般表层冻胀比深层冻胀强的结论基本一致^[4,5]。地表易受外界环境变化的影响,夏初地表开始解冻,6 月冻融频率达到最高。在冻结时,木桩在冻胀抬举力的作用下向上运动,融化时,木桩不能完全返回它原先的位置,产生了一个净向上的位移。反复的冻融循环使得木桩不断向上运动,此时分选环的深部还处在冻结状态。夏季,温度高,降水多,使得活动层深度加大,较深处的碎屑要向上运动,必须克服上层融化泥土的重力和粘滞力。9 月份冻融频率增大,地表仍然是受冻融影响最强烈的地方,冻胀情况与夏初相似,表层木桩上升快。秋末气温很快降低,活动层开始从表面和底部“双向冻结”,这时冻胀情况较为复杂。由于融化和重力的垂直方向不能颠倒,用来解释由向下冻结引起砾石隆起的“冻胀拖曳”和“冻胀推移”理论不能直接用来解释相反的向上冻结的情况^[5]。但总的情况是,易受外界环境影响的地表,其平均冻胀隆起大于深部。

表 5 下分选环中不同直径和中分选环处不同长度的木桩隆起量

Heave of wooden with different diameter in lower sorted
circles and different length in middle sorted circle

观测日期	下分选环中不同直径(cm)						中分选环处不同长度(cm)							
	1×1	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6	5	10	15	20	25	30	35	40
1990 年 7 月 6 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990 年 8 月 20 日	2mm	5mm	5mm	10mm	4mm	3mm	20mm	47mm	26mm	13mm	8mm	7mm	4mm	1mm
1991 年 8 月 14 日	67mm	38mm	36mm	47mm	33mm	41mm	*	*	*	122mm	81mm	39mm	30mm	45mm

* 木桩全部上升出,躺倒在地面。

同下分选环的观测资料对比,中分选环的木桩上升明显更快。以长度,直径及所处部位都相同的木桩比较,从 1990 年 8 月 20 日至 1991 年 8 月 14 日,中分选环木桩比下分选环的木桩隆起量大 3 倍,反映了发育时间短的分选环,冻胀活动更强。

4 含水量及粒度

分选环的发育与其含水量及粒度关系很密切。我们测定了不同地点分选环的粒度以及含水量各分析结果分别见表 6,7。下分选环不论在中心,还是靠近边缘的地方,粒度各项参数变化不大,分布均匀,砂,粉砂,粘土含量基本一致。细碎屑(粉砂和粘土)含量为 75—80%,反映了成熟的分选环经过长期充分的分选,粒度较为均匀。

表 6 下分选环粒度参数和中分选环中心粒度参数及含水量

Paraments of grain size in lower sserted circles, and paraments of grain size
and water centent in centre of middle sorted circles

部位	编号	下分选环粒度参数					中分选环的中心粒度参数及含水量					
		平均粒径(Φ)	砂	粒砂	粘土	深度(cm)	平均粒径(Φ)	砂	粒砂	粘土	含水量	深度(cm)
分选环	CH-2-1	5.36	20.81	68.81	10.37	5	5.06	40.24	41.17	18.59	7.91	5
中心	CH-2-2	6.47	18.35	56.75	24.90	30	2.98	58.11	33.10	8.80	4.38	20
分选环	CH-2-3	5.69	24.70	53.24	22.06	5	4.36	49.34	36.37	14.29	3.63	30
近边缘	CH-2-4	5.89	24.14	51.81	24.05	20	4.13	50.70	34.06	15.23	8.8	60
处	CH-2-5	5.80	24.14	53.25	22.61	30					9.56	90

中分选环的粒度参数(表 6)与下分选环的(表 7)比较,其平均粒径偏大,砂含量高,粉砂、粘土含量低。细颗粒物集中在表层,反映了发育程度中等的分选环,冻融分选不很充分。仅在最表层冻融分选较强,粗碎屑被分选到边缘,细粒物质在表层集中。其上、下层含水量高,中层含水量低(表 8)。由于大气降水和表层含细碎屑多,易保持水分,使得上层含水量高。下层含水量高是因接近冻结面,有冻结层作为隔水层,水份不易下渗而聚集在下层。

表 7 上分选环粒度参数

Paraments of grain size in upper sorted circles

	编 号	平均粒径(Φ)	砂	粒砂	粘土	深度(cm)
分选环中心	CH-1-1	2.87	63.70	26.72	9.58	5
	CH-1-2	4.27	45.42	47.77	6.81	10
	CH-1-3	4.35	38.45	54.56	6.99	20
	CH-1-4	4.96	24.85	64.78	10.37	30
分选环近边缘处	CH-1-5	1.91	80.32	17.45	2.22	5
	CH-1-6	2.37	80.30	14.20	5.50	10
	CH-1-7	2.94	54.36	38.93	6.71	20
	CH-1-8	4.96	26.56	62.95	10.50	30

上分选环不论是在中心还是在边缘,粒度从表层向底层逐渐变细(表 7)。表层含 63—80%的砂,20—37%的粉砂、粘土。底层含 25—27%的砂和 73—75%的粉砂、粘土。这表明发育时间短的分选环,未经过充分的冻融分选,粗碎屑没有运动到边缘裂隙中,而集中在表层,粒度垂向上差异大。

以上我们从不同的方面讨论了空冰斗中不同发育阶段的分选环。可见从上分选环到下分选(由幼年期到老年期)分选环的分选程度逐渐变好;粒度垂直分布由粗的上层和细的下层,变为整个剖面均匀分布;冻胀影响逐渐减弱;环心的植物增多;分选形态由高中心

变为低中心,其特征和发育背景情况初步归纳为表 8。

表 8 空冰斗中不同分选环的特征

Features of different sorted circle in empty cirque

名称	发育阶段	形态特征	F	P	Q(%)	粒度垂直分布	分选环中心	冻胀情况	高程(m)	该处冰碛年代
上分选环	幼年期	高中心似馒头状	5.57	2.5	49	向上逐渐变粗	中心有小石环	冻胀极强烈	3950	16-19 世纪
中分选环	中年期	中心稍高	4.96	6.0	60	上层细中层下层粗	小石环和多边型土	冻胀强烈	3880	2,000-3,500B. P
下分选环	老年期	边缘略高	2.28	12.5	66	分布较为均匀	生长较多植被	冻胀较弱	3820	10,000-20,000B. P

在同一地点,分选环冻胀的总趋势是中心冻胀>内缘冻胀>边缘冻胀。分选环的成熟度和分选程度随着距物源区距离的增大而逐渐增加。

决定分选环发育程度的时间和不同高度小气候变化,仍需更多的资料和深入的研究。

参 考 文 献

- [1] Washburn A L. Geocryolgy. Edward Arnold, 1979. 22—227
- [2] 崔之久. 天山乌鲁木齐河源冰川冰斗. 冰川冻土. 1981, 3, 增刊: 57—63
- [3] 王靖泰. 天山乌鲁木齐河源的古冰川. 冰川冻土. 1981, 3, 增刊: 24—35
- [4] 崔托维奇 H A 冻土力学, 科学出版社. 北京, 1985: 80—99
- [5] 王希尧. 浅潜水对冻胀及其层次分布的影响. 冰川冻土. 1982, 4(2): 55—62
- [6] Mackay J R. The frost heave of stones in the active layer above permatrost with downward and upward treezing. Arctic and Alpine Research. 1984, 6(4): 439—446

OBSERVATION AND RESEARCH OF SORTED CIRCLES IN EMPTY CIRQUE AT THE HEAD OF URUMQI RIVER, TIAN SHAN, CHINA

Xiong Heigang

(Department of Geography, Xinjiang University)

Liu Gengnian Cui Zhijiu

(Department of Geography, Peking University)

Subject terms: sorted circle, Tian Shan, frost heave

Abstract

Field investigations have been carried out in the empty cirque at the head of Urumqi River, Tian Shan, for the 1988—1991 period, in order to study features of sorted circles in different developmental stages and diversity of sorted circles in the same developmental stage. The features of the sorted circles have been analysed with the form of the sorted in the same developmental stage. The features of the sorted circle, grain size, water content, frost heave stone sorting, fabric and reference to wooden stakes inserted vertically into the ground. The results show that the sorting degree becomes much better; the influence of frostheave decreases gradually; and the centre of sorted circles was covered by vegetation increasingly from the upper to lower sorted circles (from infant stage to old stage). Moreover, the general tendency of the frostheave is central frostheave > internal gutter frostheave > gutter frostheave in a sorted circle. The infant sorted circles developed near the material source region and the mature sorted circles were formed far from the source region in the same place.