

天山乌鲁木齐河源区倒石堆浅论*

朱 诚 崔之久

(北京大学地理系)

提 要 倒石堆是一种重要的山地地貌类型。作者于1985—1987年对天山乌鲁木齐河源区倒石堆的成因、类型、组构进行了实地考察,并重复定位观察了倒石堆岩屑运动速度,对野外所获资料及数据经分析处理后,得出若干结果。

关键词 落石型倒石堆 冲积型倒石堆 倒石堆前缘堤

乌鲁木齐河源区位于天山中部喀拉乌成山主脉北坡($43^{\circ}00'—43^{\circ}08'N$, $86^{\circ}48'—87^{\circ}00'E$)。区内一般山脊海拔4100—4300米,现代雪线海拔4000—4100米,多年冻土下界海拔3200—3300米,海拔3000米以上负温季节长达七八个月。基岩主要是经多次变质的结晶片岩、眼球状片麻岩和闪长岩、花岗岩,受南北向区域性挤压力影响,断裂发育。基岩在寒冻风化作用下易崩解成风化岩屑。这为冰缘块体运动的发生,提供了极为丰富的物质基础。倒石堆便是块体运动的一种重要类型。

一、倒石堆的类型

倒石堆是由重力、雨水冲刷、冰雪融水或雪崩雪作用而形成于陡坡坡麓的岩屑堆积体。鉴于形成过程和形态的不同,倒石堆就有多种类型。怀特^[1]曾根据他对科罗拉多前缘山脉倒石堆的长期研究成果及其他学者在瑞典和加拿大等地的长期研究成果,将倒石堆分为五类,即落石型倒石堆(rockfall talus)、冲积型倒石堆(又叫岩屑锥, alluvial talus or scree)、雪崩倒石堆(avalanche talus)、雪崩石舌(avalanche boulder tongue)和倒石堆前缘堤(protalus rampart)。本区倒石堆主要有怀特分类中的落石型倒石堆(40余处)、冲积型倒石堆(10余处)及倒石堆前缘堤(仅1处可见,且已演变成石冰川)。

(一)落石型倒石堆

它是以落石、滚石、弹石或滑塌等方式形成于陡坡坡麓的岩屑堆积体。当石块落下并破裂后,细小岩屑多处于倒石堆顶部,粗大岩屑则可能滚到坡麓。此类倒石堆的坡度为 $35^{\circ}—45^{\circ}$,纵剖面较顺直,仅在坡麓处有微凹状,几乎无植被生长。区内落石型倒石堆主要分布于较陡的北坡或半阴坡坡麓。

(二)冲积型倒石堆(即岩屑锥)

它是冰雪融水对悬崖谷壁冲刷而形成于崖壁下的岩屑堆积体。粗大岩屑集中于倒石

*作者在野外工作中蒙中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川站站长康尔泗副研究员大力支持,在砾向组构统计和计算机数据处理中蒙黄茂桓研究员多方指教,一并谨致诚挚的谢意。

堆顶部，细小岩屑集中在坡麓。此类倒石堆的上部坡度为 35°—38°，但下部常大于 28°，整个坡面呈凹型，在细小岩屑堆积体上可有植被生长。在经历较长融雪期后，可生成泥流和岩屑流。两者可将大小不一的岩屑搬运至倒石堆前缘。岩屑流破坏了覆盖的植被而使后者呈条形分布于倒石堆体上。这有助于对此类倒石堆的识别。区内冲积型倒石堆主要分布在有悬冰川发育的空冰斗后壁及五号冰川下方。

(三)倒石堆前缘堤

它是由悬崖上或较陡岩石坡上单一的落石，从雪斑处滑落在雪斑下方，并在雪斑消融后构成沿谷壁呈线状展布的堤状堆积体。此类堆积体的前缘较陡，坡度 40°-50°。与其他两类倒石堆的主要区别在于，它的顶部有雪斑消融后遗留下来的较大洼地和明显的反倾坡(8°—17°)。区内此类倒石堆仅分布于海拔3600米的大西沟南侧冰蚀三角面下。

本区的倒石堆前缘堤已演变为典型的叶状石冰川(即宽度大于长度的石冰川)。其长约 70 米，宽约 120 米、高约 40 米；前缘坡度上部 60°，下部 34°。

二、倒石堆的组构特点

砾向组构分析是揭示粗粒碎屑沉积物构造特征、搬运性质和沉积方式的重要手段之

表1 落石型倒石堆部分砾向组构

Table 1 Part of debris fabric of rockfall talus

编号	粒径(厘米)			最小曲率半径(厘米)	最大曲率半径(厘米)	AB面		A轴	
	a	b	c			倾向	倾角	倾向	倾角
1	54	40	12	1.0	10	295°	24°	295°	24°
2	54	42	12	2.0	8	275°	44°	275°	44°
3	40	16	14	0.5	3	268°	42°	296°	42°
4	39	20	4	2.0	5	290°	49°	290°	49°
5	70	20	9	0.5	10	265°	25°	265°	25°
6	64	42	8	1.0	14	265°	39°	265°	39°
7	51	27	17	4.0	13	290°	39°	290°	39°
8	44	31	5	0.5	10	275°	23°	350°	15°
9	47	34	6	2.0	10	270°	29°	270°	29°
10	55	27	13	3.0	20	292°	28°	292°	28°
11	29	24	6	2.0	8	290°	22°	235°	22°
12	41	19	8	1.0	4	295°	7°	295°	7°
13	51	31	4	1.0	6	275°	39°	275°	39°
14	56	41	10	1.0	7	260°	47°	260°	47°
15	53	27	14	2.0	10	290°	46°	290°	46°
16	62	37	17	1.0	20	293°	39°	293°	39°
17	63	40	19	3.0	12	275°	25°	275°	25°
18	40	20	18	3.0	10	295°	46°	295°	46°
19	40	28	13	0.5	5	280°	40°	280°	40°
20	67	44	9	2.0	20	300°	18°	300°	18°

注：1.磨圆度全为棱角；2.岩性全为片麻岩；3.沉积面坡向全为295°，沉积面坡度全为35°。

表3 倒石堆前缘堤部分砾向组构

Table 3 Part of debris fabric of Proatus rampart

砾石位置	编号	粒径(厘米)			最小曲率半径(厘米)		最大曲率半径(厘米)		AB面		A轴		沉积面坡角	沉积面坡度
		a	b	c	最小	最大	最小	最大	倾向	倾角	倾向	倾角		
前缘坡	1	47	37	7	3	8	320°	30°	320°	30°	320°	30°		
	2	82	52	25	5	12	350°	35°	350°	35°	8°	32°	340°	38°
	3	98	60	24	4	11	341°	20°	341°	20°	288°	9°		
	4	42	24	9	3	7	340°	42°	340°	42°	80°	3°		
	5	20	14	3	2	4	350°	24°	350°	24°	350°	24°		
前缘坡顶	6	41	29	9	3	5	215°	19°	215°	19°	115°	6°		
	7	74	58	19	4	12	185°	7°	185°	7°	185°	7°		
	8	37	25	5	2	4	175°	26°	175°	26°	175°	26°	190°	34°
	9	80	58	19	2	15	190°	28°	190°	28°	190°	28°		
	10	63	52	22	2	5	180°	32°	180°	32°	215°	13°		
东坡	11	29	13	5	3	6	55°	50°	55°	50°	55°	50°		
	12	23	16	5	1	6	65°	24°	65°	24°	65°	24°	55°	35°
	13	23	14	4	2	5	55°	40°	55°	40°	55°	40°		
	14	18	15	11	2	4	55°	18°	55°	18°	55°	18°		
	15	19	15	3	2	5	55°	42°	55°	42°	155°	3°		
西坡	16	130	89	34	7	20	320°	23°	320°	23°	335°	30°		
	17	75	60	19	6	10	325°	35°	325°	35°	325°	35°	320°	35°
	18	64	62	23	3	15	325°	40°	325°	40°	325°	40°		
	19	21	15	8	1	4	350°	22°	350°	22°	350°	22°		
	20	36	19	5	1	4	345°	37°	345°	37°	320°	20°		
源头倒石堆	21	77	45	15	7	16	330°	30°	330°	30°	330°	30°		
	22	45	37	11	2	7	340°	36°	340°	36°	80°	12°	345°	30°
	23	52	38	15	4	11	320°	12°	320°	12°	320°	12°		
	24	35	25	9	3	7	340°	30°	340°	30°	305°	15°		
	25	43	30	12	4	9	350°	25°	350°	25°	295°	20°		

注: 1. 磨圆度全为棱角状; 2. 岩性全为片磨岩; 3. 全为弱风化度。

表2 冲积型倒石堆部分砾向组构

Table 2 Part of debris fabric of alluvial talus

编号	粒径(厘米)			最小曲率半径(厘米)	最大曲率半径(厘米)	AB面		A轴	
	a	b	c			倾向	倾角	倾向	倾角
1	44	37	8	0.5	6	300°	24°	225°	4°
2	33	23	8	2.0	8	321°	21°	190°	7°
3	83	61	25	3.0	20	320°	44°	10°	35°
4	39	27	13	1.0	10	292°	28°	200°	20°
5	43	18	6	0.5	3	310°	40°	250°	16°
6	32	20	10	0.5	7	320°	56°	210°	18°
7	38	34	8	1.0	10	310°	30°	20°	10°
8	39	35	15	2.0	8	295°	39°	198°	22°
9	56	29	14	0.5	10	310°	52°	225°	7°
10	33	26	8	2.0	9	320°	45°	220°	10°
11	52	31	7	1.0	3	325°	22°	60°	5°
12	65	44	12	3.0	6	235°	10°	155°	1°
13	42	27	10	1.0	5	345°	25°	20°	20°
14	38	24	7	1.0	8	260°	26°	200°	11°
15	57	29	13	3.0	10	300°	16°	260°	15°
16	40	27	4	1.0	5	315°	38°	240°	20°
17	51	30	20	2.0	8	355°	40°	260°	32°
18	53	38	15	3.0	20	295°	40°	200°	16°
19	33	22	6	0.5	6	305°	33°	15°	10°
20	44	28	8	2.0	7	300°	29°	15°	3°

注: 1. 磨圆度除编号1是棱角外, 其余均为次棱角; 2. 岩性全为片磨岩; 3. 沉积面坡向全为310°, 沉积面坡度37°。

一。作者在海拔3600米的大西沟北坡和南侧分别量测了落石型倒石堆、冲积型倒石堆及倒石堆前缘堤的组构。对前两类倒石堆分别量测砾石100块,对倒石堆前缘堤则在前缘坡、前缘坡顶、东坡、西坡、源头倒石堆五处各量测砾石100块。野外所测数据在室内采用砾向组构的矢量计算方法^[2]作了统计,并进行了计算机数据处理(表1—3,图1—2)。

由野外观察和数据处理结果得知:

1. 落石型和冲积型两类倒石堆的AB面倾向与沉积面坡向较为一致。前者的倾向

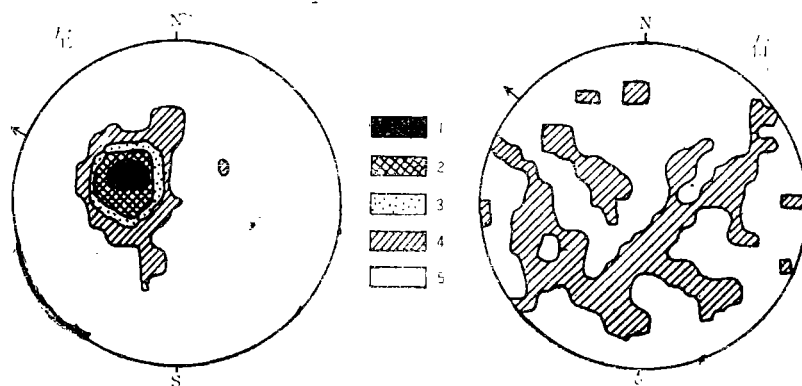


图1 两类倒石堆的A轴砾石组构图

Fig. 1 Debris fabric of A axis of rockfall-type (left) and alluvial-type (right) talus

左 落石型倒石堆: 堆积厚度0—2.00米, 主密部最大密度 (MAX) 26%, 沉积面坡向 (ORT) 295°, 沉积面坡度 (DIP) 35°.

右 冲积型倒石堆: 堆积厚度0—1.35米, 主密部最大密度 (MAX) 5%, 沉积面坡向 (ORT) 310°, 沉积面坡度 (DIP) 37°.

主密部密度: 1. 8—14%; 2. 6—8%; 3. 4—6%; 4. 2—4%; 5. 0—2%.

← (小箭头) 示沉积面坡向

与坡向相差在30°以内,后者大多在30—40°之间。这反映两类倒石堆主要是在重力作用下产生的。统计所得的离散度:前者为0.14,后者为0.20;AB面倾向有一个主密部:前者最大密度为24%,后者为18%。这些数据表明,落石型倒石堆与冲积型倒石堆相比,AB面主倾向更具优势,在搬运沉积中受重力控制更显著。

2. 落石型和冲积型两类倒石堆的A轴倾向差异较大。前者的A轴倾向与沉积面坡向较一致,A轴倾向仅有一个主密部,最大密度为26%。后者的A轴倾向较分散,一般与沉积面坡向相差达100°—200°,主密部不明显(由锥形沉积面影响所致),最大密度仅为5%。统计所得的离散度:前者为0.28,后者为0.44;前者岩屑多为棱角状且长轴多与坡向平行,后者多为次棱角状且长轴多与坡向近乎垂直(由流水搬运之故)。这表明两类倒石堆的成因不尽相同。

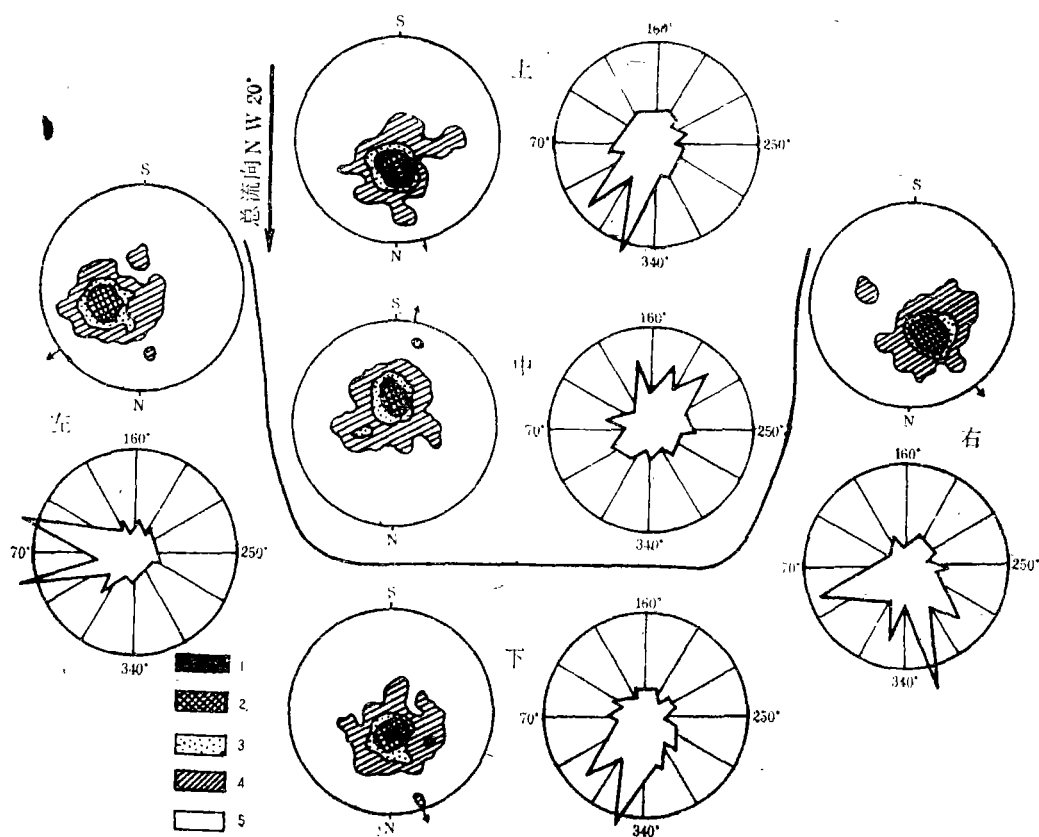


图 2 倒石堆前缘堤的AB面砾向组构和玫瑰图

Fig. 2 Debris fabric and rose diagram of AB plane of protalus rampart

左 东坡: 主密部最大密度 (MAX) 20%; 右 西坡: MAX 19%; 上 源头倒石堆: MAX 19%; 中 前缘坡顶: MAX 16%; 下 前缘坡: MAX 22%.

主密部密度: 1. >20%; 2. 10—20%; 3. 6—10%; 4. 2—6%; 5. 0—2%.

← (小箭头) 示沉积面坡向

3. 倒石堆前缘堤的特征表现在:

1) 除有一与总流向一致的总沉积面外, 还有东西两坡、前缘坡顶反倾坡等不同沉积面。

2) AB面倾向与沉积面坡向较为一致, 但存在不同沉积面间的差异: 具反倾坡的前缘坡顶的AB面倾向、A轴倾向与沉积面坡向间有一约 30°的夹角。这是由石冰川形成后其内部含冰冻结层蠕动对表层物质的拖曳影响, 从而使得前缘顶部反倾坡岩屑出现不规则逆向滚动和滑动所致。

3) 各处的AB面倾向主密部最大密度在 16—22% 之间, 离散度为 0.20—0.38; A轴最大密度为 7—14%, 离散度为 0.33—0.56。由此表明, AB面与A轴相比, 倾向更明显, 定向性更强。

4) 一旦倒石堆前缘堤向石冰川转化后,便呈现与一般倒石堆完全不同的砾向特征,这就是内部含冰冻结层的蠕动作用对石冰川的形态和组构起着控制作用,由此而反映了由倒石堆前缘堤演变成的石冰川表层岩屑的运动方向,即岩屑自谷壁向外并垂直于石冰川表面等高线方向流动。

三、倒石堆的运动特征

(一)落石型和冲积型两类倒石堆的运动特征

1985年夏,作者在本区胜利达坂南坡废弃公路侧一落石型倒石堆前缘(阳坡,坡向SW15°,坡度36°),打下0.5米长的木桩三根,1986年夏观测到倒石堆前缘已超出木桩100.0厘米,可见倒石堆运动之迅速。

1986年熊黑钢¹⁾分别在空冰斗后壁(阳坡,坡向SE33°,坡度36°)和胜利达坂北坡(阴坡,坡向NW15°,坡度35°)用基岩控制点、细钢钎和涂漆剖面线观测冲积型倒石堆运动。两个月后发现,南坡平均向下运动速度0.4厘米/天(最大1.4厘米/天,最小0.1厘米/天);北坡平均向下运动速度0.2厘米/天(最大0.4厘米/天,最小0.04厘米/天)。如果按年度推算,南坡岩屑运动速度146.0厘米/年,北坡平均73.0厘米/年。

在四号冰川西侧废弃公路处,作者还观测了落石型倒石堆在不同坡向的卸载量。在半阴坡(坡向NE65°),由于气温在0℃左右波动的频率较小,寒冻风化作用较弱,风化碎屑物质来源较少,故与阳坡相比,倒石堆卸载量较少。挖坑观测25年来废弃路段的倒石堆卸载量表明,废弃公路挡墙根处的岩屑堆积厚仅5.0厘米;废弃公路的半阳坡(坡向SW15°)处岩屑堆积厚达31.5厘米,且岩屑平均粒径较大。由此可见,阳坡与阴坡相比,倒石堆卸载量多5倍以上。

就1985—1986年度观测而言,本区落石型和冲积型两类倒石堆的运动速度比国外某些地区倒石堆运动速度要快,如加拿大落基山脉的倒石堆运动速度为6—111厘米/年,挪威北部为22厘米/年^[3],科罗拉多前缘山脉为8—10厘米/年^[4]。倒石堆的运动往往具有突然性,如在突然推力作用下的落石型倒石堆位移和运动极迅速,且运动速度随时间推移而有不同:科罗拉多前缘山脉一落石型倒石堆曾停止运动达八年之久,但后三年又突然活动,位移量达10厘米/年^[4]。这说明倒石堆运动具有不规则性,因此短期观测的运动速度不一定能准确反映真实情况。本区此项观测若能长期开展,必将获得更为可靠的资料。

(二)倒石堆前缘堤的运动特征

1985年夏,作者用观测冲积型倒石堆运动的相同方法,在倒石堆前缘堤两侧基岩上建立控制点,在控制点间的涂漆剖面线上共标定37块大砾石,一年后发现有13块砾石向前移动,平均前移11.2厘米。其中第20号石块(石英片岩块尺寸为70×60×45厘米)向前翻动158.0厘米,两块巨砾(第17,18号)则分别后退4.5厘米和1.0厘米。在前缘坡上共标定100块砾石,其中36块已发生不等量位移。有趣的是,位移最快的岩屑位

1) 崔之久、熊黑钢, 1986, 乌鲁木齐河源冰川区几种堆积物的堆积速率及沉积特征观测。

于前缘坡中部,即前缘坡顶到坡麓的第21—70号砾石位移最快,垂直位移量200.0—400.0厘米,水平位移量150.0—300.0厘米。经分析认为,这是在重力和坡度影响下,倒石堆前缘堤内含冰冻结层朝前蠕动的速度大于上部松散层和底部冻结层的移动速度之故。

总的来说,本区倒石堆数量以落石型倒石堆占优势,冲积型次之。各类倒石堆之间的最主要区别特征是粒度级配的分布、条状的植被以及表面有无作为倒石堆前缘堤标志的较大洼地和明显的反倾坡。

参 考 文 献

- (1) White, S.E., 1981, Alpine mass movement forms (noncatastrophic), classification, description, and significance, *Arctic and Alpine Research*, 13 (2), 127-137.
- (2) 艾南山, 1982, 砾向组构的矢量计算方法, 兰州大学学报(自然科学版), 18 (4), 第184—185页.
- (3) Washburn, A.L., 1979, *Geocryology*. Edward Arnold, Ltd 41 Bedford Square, London WC-1B3DQ, 235-237.

A SUPERFICIAL DISCUSSION OF TALUS AT THE HEAD OF URUMQI RIVER, TIAN SHAN

Zhu Cheng Cui Zhi jiu

(Department of Geography, Beijing University)

Abstract

Three kinds of talus (rockfall-type, alluvial-type and protalus rampart-type) were found in this region.

Rockfall-type was main influenced by gravitational force, so the smaller debris tended to stop on the talus, whereas the larger ones may reach its base. Both of AB plane and A axis were in accordance with its sedimentary direction. Its moving velocity was more than 100.0 cm/year.

The melted water of ice and snow possessed an important influence for forming alluvial talus. you can see that the larger debris tended to stop on the talus, whereas the smaller ones may reach its base. Although its AB plane was in accordance with its sedimentary direction, but its A axis was nearly perpendicular to that direction. Its moving velocity was 146.0cm/year on southern slope, 73.0cm/year on northern slope.

Its shape and structure was different from talus for protalus rampart, which had become a rock glacier. Because of influence of creeping of its inner frozen 1-layer contained ice, so, all of its AB plane and A axis were in accordance with themselves own sedimentary direction. Its moving velocity was 11.2cm/year or so.

Key words rockfall talus, alluvial talus, protalus rampart