

天山乌鲁木齐河源区及拉尔敦达坂 冰缘块体运动观测研究^①

Observation on Periglacial Mass Movement in the Head Area of Urumqi
River and Laerdong Pass, Tianshan Mountains

崔之久¹ 熊黑钢¹ 刘耕年²

(¹ 北京大学地理系; ² 新疆大学地理系)

提 要 1986年以来对天山冰缘环境中的块体运动现象倒石堆、石冰川、活动层蠕动和泥流舌进行了观测研究。海拔3 600—3 950 m之间倒石堆大量发育,按补给方式主要有雪崩型、崩落型和冲积型等,测得倒石堆表面运动速度平均3.15 cm/a;前缘平均运动速度为2.22 cm/a。石冰川大多由倒石堆演化而来,呈叶状,分布在3 300—3 950 m之间,前缘运动速度平均21 cm/a。海拔3 460—3 540 m,坡度10—17°,坡向170—90°的活动层向坡下的平均蠕动速度为1.13 cm/a。海拔2 800—2 900 m的拉尔敦达坂朝北坡发育大量泥流舌,表面平均运动速度13.9 cm/a,前缘前进的平均速度为2.76 cm/a。

关键词 冰缘 运动 速度

天山乌鲁木齐河源区海拔3 545 m的大西沟气象站年均气温-5.34℃,年均降水430 mm;海拔3 805 m的空冰斗水文点年均气温-7.5℃,年降水380—460 mm(1987—1989年)。大西沟气象站平均每年气温在0℃上下波动130次。拉尔敦达坂年均降水830—840 mm,年均气温约为-2.6℃(据雪崩站气象资料推算)。

1 倒石堆及石溜坡

倒石堆是最常见的山地地貌现象之一。在天山自山麓到分水岭,倒石堆广泛分布,但尤以高山段的现代冰缘环境中规模大、密度高、活动性强。倒石堆强发育的气候背景是强烈的冻融引起的基岩崩解,地貌条件是古冰川作用形成的陡峭的谷坡,在3 600—3 950 m间最发育。

1986—1991年对倒石堆表面砾石运动量和底部边缘的前进速度进行了测量^②,结

①国家自然科学基金、中国科学院天山冰川观测试验站基金资助。

②熊黑钢等,1992.天山中部倒石堆的观测与研究.地貌过程与环境管理。

表 1 倒石堆分布、形态和运动测量结果

编 号	海 拔 (m)	坡 向 (°)	倒石堆长 (m)	倒石堆中 部 宽 (m)	倒石堆 坡 度 (°)	补给区高 (m)	补给区 坡 度 (°)	表面砾石 运 动 量 (cm / a)	倒石堆前 缘前进量 (cm / a)
Talus-1	3 700	35	270	115	25—55	450	45—55	上 2.5 中 1.8 下 1.2	0.26
Talus-2	3 700	40	90	65	30—35	450	60—75	上 6.6 中 10.4 下 8.4	4.18
Talus-3	3 950	135	175	110	25—32	375	45—60	上 0.8 中 0.9 下 0.82	1.52
Talus-4	3 900	230	210	95	25—32	350	50—70	上 1.68 中 1.25 下 1.49	1.82
Talus-5	3 900	75	45	40	28	560	41	—	1.4
Talus-6	3 920	80	65	60	30	610	40	—	1.03
Talus-7	3 840	230	70	35	27	355	39	—	0.88
Talus-8	3 640	265	130	17	28	520	32	—	3.1
Talus-9	3 680	265	180	35	28	720	34.5	—	5.78

注: Talus-1—Talus-4 为 1986—1991 年测量结果, Talus-5—Talus-9 为 1990—1991 年测量结果。

果见表 1。倒石堆 Talus-1 位于 5 号冰川之下, 以崩落的冰碛物和风化碎屑补给为主。Talus-2 位于 5 号冰川右侧冰川槽谷壁之下, 主要接受寒冻风化碎屑。Talus-3 和 Talus-4 分别位于空冰斗后壁和左侧壁之下。以上倒石堆观测时间为 1986 年 6 月—1991 年 8 月。倒石堆 Talus-5 和 Talus-6 位于空冰斗中西侧壁之下, Talus-7 位于空冰斗冰坎处, Talus-8 位于 4 号冰川槽谷朝西坡中部, Talus-9 位于 4 号冰川小冰期冰碛垅前朝西坡。Talus-1—Talus-4 表面砾石分上段、中段和下段布线观测, 相当于倒石堆 1/4, 1/2 和 3/4 的位置。倒石堆前缘运动量用测桩作为基准点测量(表 1)。倒石堆表面砾石的平均运动速度为 0.82—10.4 cm/a, 总平均 3.15 cm/a; 上段的平均运动速度为 2.9 cm/a, 中段的平均运动速度为 3.6 cm/a, 下段为 3.0 cm/a。倒石堆前缘的前进速度为 0.26—5.78 cm/a, 平均值为 2.22 cm/a。

朱诚^①于 1986 年在海拔 3 990 m、坡向 110° 石榴坡布置观测场, 基岩山坡的平均坡度 27°、坡长 275 m; 石榴坡宽 5.5 m、坡度 34°、长 69 m, 岩性为石英片岩。1990 年对其进行了复测, 基部宽度 5.5 m 分布的 13 个点运动 30—80 cm, 平均 38.46 cm, 因此石榴坡表面砾石的运动速度为 7.69 cm/a。

倒石堆表面砾石的运动方式很复杂(Washburn, 1979), 有滚动、滑动、蠕动和沉降

^①朱成, 1990, 天山冰缘地貌过程及其与西南极和安第斯山的比较, 博士论文。

等, 而且运动还具有随机性。所做的测量只能代表某时段的一个平均情况, 如 Rampton 等(1974)在加拿大育空地区坡度 25° 以下倒石堆测得表面平均运动速度 2.5 cm/a , 最大 5.8 cm/a ; Gardner (1973)在加拿大路易斯湖区平均坡度 25° 的倒石堆测得运动速度 $6.6\text{—}111.0 \text{ cm/a}$; Michard (1950)测得法国阿尔卑斯山倒石堆的运动速度 $1\text{—}450 \text{ cm/a}$; Rapp (1960)在瑞典拉普地测得 $14\text{—}38.5^{\circ}$ 倒石堆表面砾石运动速度 $0\text{—}22 \text{ cm/a}$ 。可以看出, 大部分地区倒石堆表面砾石每年的运动量为数厘米, 极端可达数米。活动性和规模与地形、气候、岩性和构造等有关。

2 石 冰 川

乌鲁木齐河源的石冰川大部分呈叶状 (崔之久等, 1989; 朱诚, 1989), 少数呈舌状, 分布在 $3\,300\text{—}3\,950 \text{ m}$ 之间, 位于阴坡或半阴坡。大部分石冰川由倒石堆演化而来, 称之为倒石堆型石冰川, 少量由冰碛垅演化而成, 称为冰碛型石冰川(Barsch, 1969; Corte, 1987)。自 1986 年以来对石冰川形态、组构、运动速度和结构类型进行了测量(表 2)。RG-1 为舌状石冰川, 其长宽比为 1.6, 其余均为叶状石冰川, 长宽比介于

表 2 石冰川形态及运动速度

编 号	长 (m)	宽 (m)	高 (m)	末端海拔 (m)	流向(坡向)($^{\circ}$)	前缘坡度($^{\circ}$)	运动速度 (cm/a)
RG-1	100	62		3 350	44	35	0.96
RG-2	70	120		3 600	352	60	11.23
RG-3	60	150	83.9	3 500	305	41	45.0
RG-4	27	101	27	3 950	352	35	15.5
RG-5	55	130	100.5	3 500	280	41	49.0
RG-6	20	100.5	41.5	3 900	200	32	6.2

$0.2\text{—}0.58$ 之间。流向以偏北为主, RG-5 向西, RG-6 向南。石冰川的运动速度在 $0.96\text{—}49 \text{ cm/a}$ 之间, 平均为 21 cm/a 。欧洲阿尔卑斯山石冰川运动速度在 $7\text{—}500 \text{ cm/a}$ 之间, 大多在 140 cm/a 左右(Vietoris, 1972; Barsch, 1969; 1975; Chaix, 1943)。加拿大 Alberta 公园的石冰川运动速度为 $0.3\text{—}0.8 \text{ cm/a}$ (Osborn, 1975), 阿拉斯加山脉石冰川运动速度为 $36\text{—}69 \text{ cm/a}$ (Wahrhaftig *et al.*, 1959), 科罗拉多 Front 山脉石冰川的运动速度为 $2\text{—}15 \text{ cm/a}$ (White, 1971), 怀俄明 Galena 河为 $32\text{—}217 \text{ cm/a}$, 平均 133 cm/a (Potter, 1969)。海洋性气候区石冰川每年运动数厘米至数十厘米。

3 活动层运动

乌鲁木齐河源区 1979 年架设的电话线杆, 由于活动层缓慢地向坡下蠕动, 已发生了明显的倾斜。电话线杆的倾斜位移量反映了活动层向坡下的蠕动力, 可以据此求得该区活动层地表平均下移速率。为此, 测量了 $3\,460\text{—}3\,540 \text{ m}$ 间的 77 根电杆的倾角及其

表 3 乌鲁木齐河源区电话线杆倾斜反映的活动层蠕动

编 号	电杆 倾角 (°)	地表总 位 移 (cm)	地表平 均位移 (cm/a)	坡 地 特 征	编 号	电杆 倾角 (°)	地表总 位 移 (cm)	地表平 均位移 (cm/a)	坡 地 特 征
A-1	88	5.24	0.44	A. 第一段, 电杆 走向 245°, 坡 向 170°, 电杆 倾斜方向 170° A-1—A-12, 干 草地, 坡度 10°, A-8 处为石河	B-15	84	15.71	1.31	B-13—B-24, 干 草地, 坡度 14°, B-16, B-17 处为 水沟; B-18 有辅助钢索
A-2	79	28.80	2.40		B-16	82	20.95	1.75	
A-3	86	10.47	0.87		B-17	82	20.95	1.75	
A-4	84	15.71	1.31		B-18	88	5.24	0.44	
A-5	87	7.85	0.65		B-19	86	10.47	0.87	
A-6	86	10.47	0.87		B-20	86	10.47	0.87	
A-7	88	5.24	0.44		B-21	86	10.47	0.87	
A-8	82	20.95	1.75		B-22	86	10.47	0.87	
A-9	83	18.33	1.53		B-23	86	10.47	0.87	
A-10	85	13.09	1.09		B-24	86	10.47	0.87	
A-11	85	13.09	1.09		B-25	80	26.18	2.18	B-25—B-29, 湿草 地坡度 15—17°, B-25 处为水沟, B-29 位于老石 河上
A-12	84	15.71	1.31		B-26	81	23.56	1.96	
A-13	87	7.85	0.65	A-13—A-19, 湿 草地, 坡度 11°, A-15, A-16, A-17 有辅助钢索	B-27	79	28.80	2.04	
A-14	85	13.09	1.09		B-28	83	18.33	1.53	C. 第三段电杆走向 215°, 坡向 90— 140°, 电杆倾斜方 向 90—140° C-1—C-13, 为湿 草地, C-1, C-4, C-8, C-12 有辅助钢索 C-5 处为石河, C-9 处为热融洼地, C-13 处为石河, C-10 倾向 210°, 坡角 20.5°
A-15	90	0	0		B-29	85	13.09	1.09	
A-16	89	2.62	0.22		C-1	89	2.62	0.22	
A-17	90	0	0		C-2	88	5.24	0.44	
A-18	85	13.09	1.09		C-3	86	10.47	0.87	
A-19	85	13.09	1.09	A-20—A-25, 干 草地, 坡度 11° A-20, A-21 处为 石河, 坡向 15°	C-4	87	7.85	0.65	
A-20	84	15.71	1.31		C-5	81	23.56	1.96	
A-21	83	18.33	1.53		C-6	86	10.47	0.87	
A-22	85	13.09	1.09		C-7	84	15.71	1.31	
A-23	85	13.09	1.09		C-8	89	2.62	0.22	
A-24	82	20.95	1.75		C-9	84	15.71	1.31	
A-25	88	5.24	0.44	B. 第二段, 电杆走 向 240°, 坡向 150°, 电杆倾斜 方向 150°, B-1—B-12, 湿草 地, 坡度 11°, B-1, B-2 处为石 河, B-6, B-8 有辅助 钢索, B-11 处发生热融 滑塌	C-10	84	15.71	1.31	
B-1	79	28.80	2.40		C-11	83	18.33	1.53	
B-2	81	23.56	1.96		C-12	87	7.85	0.65	
B-3	86	10.47	0.87		C-13	83	18.33	1.53	
B-4	87	7.85	0.65		C-14	84	15.71	1.31	
B-5	86	10.47	0.87		C-15	83	18.33	1.53	C-14—C-23, 为干 草地, 坡向 90°, 坡 度 14°, C-16 有辅助钢索
B-6	89	2.62	0.22		C-16	86	10.47	0.87	
B-7	87	7.85	0.65		C-17	86	10.47	0.87	
B-8	88	5.24	0.44		C-18	86	10.47	0.87	
B-9	85	13.09	1.09		C-19	86	10.47	0.87	
B-10	87	7.85	0.65		C-20	86	10.47	0.87	
B-11	85	13.09	1.09		C-21	86	10.47	0.87	
B-12	88	5.24	0.44		C-22	86	10.47	0.87	
B-13	87	7.85	0.65		C-23	86	10.47	0.87	
B-14	88	5.24	0.44						

相应的坡地特征, 据此求得活动层地表的运动速度(表 3)。电杆间距 25 m, 埋深 1.50 m, 向坡下发生倾斜。假设活动层蠕动和电杆的倾斜同步同量, 蠕动力在地表最大, 在 1.50 m 深处接近 0。则地表位移量

$$S = h \cdot \sin \alpha [\sin (90^\circ - \frac{1}{2} \alpha)]^{-1}$$

式中: S 为 1979 年以来地表位移总量(cm); α 为电杆倾角, 取 90° ; h 为电杆埋深, 取 150 cm。

第一段 A 共测 25 根电杆, 走向 245° 、坡向 170° 、地面坡度 $10\text{—}15^\circ$ 、位移速度 $0.22\text{—}2.4\text{ cm/a}$ 、平均 1.0 cm/a 。位于松散细粒冰碛物上的 A-2 运动量最大, 12 a 共位移 28.8 cm, 平均每年位移 2.4 cm/a 。第二段 B 共测量 29 根电杆, 走向 240° 、坡向 150° 、地面坡度 $11\text{—}17^\circ$ 、平均运动速度 $0.22\text{—}2.4\text{ cm/a}$ 、总平均 1.11 cm/a 。位于石河上的 B-1 位移量最大, 平均速度为 2.4 cm/a 。第三段 C 共测 23 根电杆, 走向 215° 、坡向 $140\text{—}90^\circ$ 、地面坡度 12° 、位移速度 $0.22\text{—}1.96\text{ cm/a}$ 、平均 0.99 cm/a 。C-5 修在石河上, 运动量最大, 平均速度 1.96 cm/a 。该区活动层地表向坡下运动速度总平均为 1.13 cm/a 。Mackey 等(1974)测得加拿大不列颠哥伦比亚西北 1900 m 分选石条地表的平均运动速度是 $15\text{—}33\text{ cm/a}$, 比本区的运动速度要大得多。由于寒冻蠕移作用和泥流作用引起活动层向坡下的运动速度一般在每年数厘米之间, 范围大致在 $0.1\text{—}12\text{ cm/a}$, 平均 2.5 cm/a 左右(Washburn, 1979)。活动层的运动速度与气候条件、坡度和坡向、地下水分条件、微地形条件及物质组成有关。

4 泥 流 舌

1990 年 8 月在拉尔敦达坂($43^\circ 10' \text{ N}$, $84^\circ 20' \text{ E}$, 海拔 2888 m)布置了泥流舌观测场, 并对一泥流舌进行了坑探, 分层采了粒度和含水量样品, 对泥流舌的形态进行了测量(表 4, 5, 6 和 7)。泥流舌的形态要素表明该区泥流舌多呈长度小于宽度的叶状。泥流舌长宽比只有 TLG-4 为 1.51, 呈舌状; 其余长宽比在 $0.33\text{—}0.95$ 之间, 平均 0.59, 宽是长的近 2 倍。泥流舌前缘中部高 $1.55\text{—}2.5\text{ m}$, 平均 1.86 m 。泥流舌舌面坡度 $10\text{—}30^\circ$, 平均 20° 。前缘坡坎坡度为 $48\text{—}70^\circ$, 平均 59° 。泥流舌前的地面坡度在 $12\text{—}31^\circ$, 平均 20° 。泥流舌坑探分层采样时在 106 cm 处见 $0.5\text{—}1.0\text{ mm}$ 的脉状冰。粒度资料说明该处为含砾砂粉砂土, 砂、粉砂和粘土的平均含量分别是 41%, 41%和 18%。含水量与土层中砂的含量成反比, 与粘土的含量成正比。1990 年 8 月在泥流舌顶面前端插入长 120 cm 硬塑料管, 并测量其倾角。1991 年 8 月复测其倾角变化, 求得泥流舌表面的运动速度 $6.28\text{—}16.8\text{ cm/a}$, 平均 13.9 cm/a 。1990 年 8 月在泥流舌前打定位木桩, 测量木桩与泥流舌前缘的距离, 1991 年复测泥流舌前缘与木桩的距离, 得一年中泥流舌前缘的运动量(表 7)。TLG-2 东侧和 TLG-3 中部为负值, 反映泥流舌前缘的运动速度比木桩所在的地表向坡下的运动速度慢。泥流舌前缘相对于地表运动量最大 12.5 cm , 平均 2.76 cm 。泥流舌的运动速度在不同的环境背景下变化很

表 4 拉尔敦达坂泥流舌形态(1990年8月8日测)

编 号	泥 流 舌			坡 向 (°)	泥 流 舌				海 拔 (m)
	长 (m)	宽 (m)	高 (m)			舌面坡度(°)	前缘坎 坡度(°)	前缘地面 坡度(°)	
TLG-1	18.3	25.7	2.5	15	西 侧 中 部 东 侧	19 10 17.5	59 52 54	23 20 24	2 890
TLG-2	8.55	17.5	1.55	15	西 侧 中 部 东 侧	7 29 22	48 54.5 58	31 12 14	2 890
TLG-3	28.4	30.0	2.0	13	西 侧 中 部 东 侧	25 27 20	65 61 70	22 17.5 21	2 895
TLG-4	15.7	10.4	1.65	17		16	60	20.5	2 900
TLG-5	6.5	20.0	1.67	13		22	61	13	2 890
TLG-6	7.0	15.0	1.8	15		30	65	25	2 885

表 5 拉尔敦达坂分层粒度和含水量

编 号	分层深度 (cm)	层 厚 (cm)	粒 度 组 成 (%)			含水量 (%)
			砂	粉 砂	粘 土	
TLG-A	0—9	9	—	—	—	75.21
TLG-B	15—20	5	45.88	37.50	16.61	16.61
TLG-C	20—33	13	39.31	42.30	18.39	37.12
TLG-D	33—45	12	27.08	50.61	22.31	33.46
TLG-E	45—65	20	62.12	29.24	8.64	9.98
TLG-F	65—77	12	67.40	25.20	7.40	9.74
TLG-G	77—101	24	23.11	51.67	25.22	33.12
TLG-H	101—125	24	22.35	51.87	25.78	35.49

表 6 拉尔敦达坂泥流舌顶表面(前部)运动速率

编 号	塑料管初始倾角 ^① (°)	次年塑料管倾角 ^② (°)	塑料管埋深 (cm)	泥流舌顶表面运动速率 (cm/a)
TLG-1	85	77	120	16.8
TLG-2	84	77	120	14.7
TLG-3	85	82	120	6.28
TLG-4	85	78	120	15.0
TLG-5	85	77	120	16.8

注: ①为 1990 年 8 月 8 日; ②为 1991 年 8 月 24 日。

表 7 1990.8.8—1991.8.24 拉尔敦达坂泥流舌前缘运动情况

编 号	西侧运动量 (cm)	中部运动量 (cm)	东侧运动量 (cm)
TLG-1	1.1	7.0	1.0
TLG-2	0.5	0.7	-0.5
TLG-3	2.0	-2.0	0
TLG-4	-	1.75	-
TLG-5	-	1.0	-
TLG-6	-	12.5	-

大, 一般在 0.5—10.0 cm / a(Dyke, 1981; Egginton *et al.*, 1985; French, 1974; Mackey, 1981), 拉尔敦达坂处的泥流舌运动量比较大, 可能与该区坡度大、降水多、地下水条件好有关。

参 考 文 献

- 朱诚, 1989. 从砾石组构看天山叶状石冰川的表面运动特征. 冰川冻土, 11(1): 82—87
- 崔之久 朱诚, 1989. 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, (2): 134—137
- Barxch D, 1969. Studien und messungen an blockgletschern in Macun, Unterengadin, Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd., (8): 11—30
- Barsch D, Hell G, 1975. Photogrammetrische Bewegungsmessungen am Blockgletscher Murte' I, Oberengadin, Schweizer Alpen: Zeitschrift für Gletscher-Kunde u. Glazialgeologie II(2): 111—142
- Chaix A, 1943. Les coulées de blocs du Parc national suisse Le Globe, Mémoires 82, 121—128
- Corte A E, 1987. Rock glacier taxonomy, in ROCK GLACIERS ed. Giardino, Shroder and Vitek, Allen & Unwin, Boston, 27—39
- Dyke A S, 1981. Late Holocene solifluction rates and radio-carbon soil ages. central Canadian Arctic, Geological survey of Canada, Paper 81(1C): 17—22
- Egginton P A, French H M, 1985. Solifluction and related processes. eastern Banks Island, N.W.T., Canadian Journal of Earth Science, (22): 1 671—1 678
- French H M, 1974. Mass wasting at Sachs Harbour. Banks Island, N.W.T. Canada, Arctic and Alpine Research (6): 71—78
- Gardner J S, 1973. The nature of talus shift on alpine talus slope. in Research in Polar Geomorphology, ed. Fahey and Thompson, 206
- Mackey J R, Mathews W H, 1974. Movement of sorted stripes, the Cinder Cone Garibaldi Park, B.C., Canada: Arctic and Alpine Research (6): 347—359
- Mackey J R, 1981. Active layer slope movement in a continuous permafrost environment. Garry Island, N.W.T., Canada, Canadian Journal of Earth Science (18): 1 666—1 680
- Michard J, 1950. Emploi de marques dans l'étude des mouvements du sol: Rev. Geomorphologie dynamique I, 180—189
- Osborn G D, 1975. Advancing rock glaciers in the Lake Louise area, Banff National Park, Alberta, Canadian Journal of Earth Science (12): 1 060—1 062
- Potter N, 1969. Rock glaciers and mass-wasting in the Galena Creek area, northern Absaroka Mountains, Univ Minnesota Ph.D thesis. 150
- Rampton V N, Dugal J B, 1974. Quaternary stratigraphy and geomorphic processes on the Arctic Coastal plain and adjacent areas, Demarcation Point, Yukon Territory, to Malloch Hill, D.M., Canada, Geol Survey Paper 74(1): 283

- Rapp A. 1960. Recent development of mountains slopes in Karkevagge and surroundings, N. Scandinavia: *Geografiska Annaler* **42**(2—3): 65—200
- Vietoris L. 1972. Uder den Blockgletscher des Ausseren Hochebenkars: *Zeitschr Gletscherkunde und Glazialgeologie* **8**(1—2): 169—188
- Wahrhaftig C, A Cox, 1959. Rock glaciers in the Alaska Range: *Geol. Soc. America Bull* **70**: 383—436
- Washburn A L, 1979. Geocryology, Edward Arnold, 230—231
- White S E. 1971. Rock glacier studies in the Colorado Range, 1967—1968: *Arctic and Alpine Research* (3): 43—64

www.cnki.net