中国天山高山冰缘环境中的寒冻风化 剥蚀作用及其影响因素^①

刘耕年 熊黑钢
(北京大学地理系) (新疆大学地理系)

提 要 通过量测天山高山冰缘环境中崩落在公路上的寒冻风化碎屑, 给出寒冻风化剥蚀速率及其主要影响因素。玉希莫勒盖达坂寒冻风化剥蚀率平均为 0.0115 m/a, 哈希勒根达坂的平均剥蚀率是 0.0014 m/a, 冰达坂的平均剥蚀率是 0.0018 m/a。对寒冻风化作用的主要影响因素有海拔、坡向、温度和降水、岩性构造及地形条件等。

关键词 寒冻风化 剥蚀速率 影响因素

1 研究区概况

乌鲁木齐—库尔勒公路(简称乌库公路)段上的冰达坂, 也称胜利达坂, 海拔 4 010 m, 位于乌鲁木齐市南 135 km。地质构造位于天山褶皱带, 岩性为各种结晶片岩、片麻岩及混合岩。基岩构造破碎, 岩石产状大致为 $200^{\circ} \angle 80^{\circ}$, 节理以 $40^{\circ} / 130^{\circ} \angle 65^{\circ}$ 和 $355^{\circ} / 265^{\circ} \angle 80^{\circ}$ 两组最为常见。该公路在 50 年代末修毕通车后, 由于冰达坂下有一段路修在 4 号冰川含死冰的侧碛垅之上, 死冰消融使路面沉陷坍塌, 无法通车, 只好于 1959 年废弃不用, 在 3 号冰川北侧重新修路。废弃的路面接受山坡下落的寒冻风化碎屑, 提供了理想的量测场地, 供研究寒冻风化剥蚀的速率。在野外实测了堆积有寒冻风化碎屑的路长, 碎屑的宽度、高度和坡度, 供给碎屑的基岩山坡的坡高、坡度和坡向, 以及岩性和构造特征。

独山子—库车公路(简称独库公路)段上的哈希勒根达坂, 海拔 3 580 m, 位于独山子南 110 km。岩性为志留系中—酸性火山岩和大理岩。玉希莫勒盖达坂, 海拔 3 428 m, 距独山子 175 km。由石炭系火山碎屑岩、灰岩、硅质岩夹煤层组成, 有大断裂带通过, 基岩发生角砾岩化和糜棱岩化。独库公路始建于 1974 年, 该路段于 1981 年建成。筑路开挖的上边坡寒冻风化碎屑落在路面, 同样为探究寒冻风化剥蚀速率和影响因素, 对其延伸长度、宽、高和坡度, 以及补给基岩面的高度、坡度和朝向进行了量测, 另外还观测了岩性构造状况。

^① 本文于 1992 年 3 月 31 日收到, 9 月 12 日改回; 属国家自然科学基金(青年)基金和中国科学院天山冰川观测试验站基金资助项目。

2 测量方法和结果

哈希勒根达坂和玉希莫勒盖达坂两处测量的内容包括: 碎屑沿公路堆积的长度(路长)、碎屑的宽度、碎屑的高度和碎屑的坡度, 基岩补给区的高度、坡度、坡向及岩性构造状况。同时根据地形图(1: 50 000)标出各段公路的海拔。测量间隔的水平距离为 20 m。冰达坂海拔 3 589—4 010 m 处测量的内容有: 碎屑堆积的路长、碎屑的宽度和高度、碎屑的坡度, 基岩补给区的坡高和坡向, 及岩性和构造特征。测量的水平间距为 10 m。紧贴公路上边坡堆积的寒冻风化碎屑, 其横截面积可近似为直角三角形, 碎屑的底宽为三角形的底直角边, 碎屑的高度为三角形的高直角边。基岩风化碎屑的孔隙率平均取 0.2, 则某一路段上积累的寒冻风化碎屑的体积为:

$$\frac{1}{2} \times \text{路长(m)} \times \text{碎屑宽(m)} \times \text{碎屑高(m)} \times (1 - 0.2)$$

该路段上基岩由于寒冻风化而发生的剥蚀速率为:

$$\text{碎屑的体积} \div (\text{补给区面积} \times \text{积累时间})$$

三处达坂共测量 1 980 个基本数据。由于列出这些数字篇幅较长, 这里只给出分段整理的数据。哈希勒根达坂碎屑堆积参数, 补给区参数和风化碎屑体积及剥蚀速率见表 1(统计区路长 1 057 m, 寒冻风化碎屑总量 1 011.78 m³, 补给区基岩总面积 70 649 m², 总平均剥蚀量 0.0014 m/a, 山坡由于寒冻风化引起的后退速度为 1.4 mm/a; 阳坡的平均剥蚀率为 0.002 m/a, 山坡后退速度 2.0 mm/a; 阴坡的平均剥蚀率为 0.0013 m/a, 山坡后退速度为 1.3 mm/a)。玉希莫勒盖风化碎屑的统计结果见表 2(统计区路长 2 149.9 m, 寒冻风化碎屑总量 2 193.39 m³, 补给区基岩总面积 19 103.8 m², 总平均剥蚀量 0.0115 m/a, 山坡由于寒冻风化引起的后退速度为 11.5 mm/a; 阳坡的平均剥蚀率为 0.0123 m/a, 山坡后退速度 12.3 mm/a; 阴坡的平均剥蚀率为 0.0077 m/a, 山坡后退速度 7.7 mm/a)。冰达坂寒冻风化碎屑的统计结果见表 3 和表 4。表 1—4 的统计结果反映出, 玉希莫勒盖达坂基岩受寒冻风化而破碎的速度最快。其剥蚀速率的变化范围是 0.005—0.0392 m/a, 剥蚀速率的平均值为 0.0115 m/a, 阳坡(南坡)平均剥蚀速率为 0.0123 m/a, 阴坡(北坡)平均剥蚀速率为 0.0077 m/a。哈希勒根达坂基岩受寒冻风化而剥蚀的速率介于玉希莫勒盖达坂和冰达坂之间, 哈希勒根达坂基岩风化剥蚀速率变化在 0.00045—0.0084 m/a, 总平均值为 0.0014 m/a, 阳坡剥蚀率均值为 0.002 m/a, 阴坡为 0.0013 m/a。靠东的冰达坂基岩受寒冻风化作用剥蚀的速率较低, 其剥蚀率范围在 0.000002—0.0018 m/a, 总平均为 0.0018 m/a, 阳坡剥蚀率平均为 0.00024 m/a, 阴坡为 0.00013 m/a。风化剥蚀速率随海拔的增加而增加, 在哈希勒根达坂和玉希莫勒盖达坂处表现得较明显, 在冰达坂处略有变化。

3 风化作用特点及影响因素

寒冷的高山、高原和极地地区由于寒冻风化作用(主要是冻融作用)引起基岩风化剥

表 1 哈希勒根达坂寒冻风化碎屑堆体积和剥蚀率统计(1981—1990 积累量平均)

Table 1 Depositional amount of gelifraction debris and the denudation rate at Haxilegen Pass

位 置	海 拔 (m)	路 长 (m)	碎 屑 堆			补 给 区			碎 屑 积 累总量 (m ³)	补 给 区 面 积 (m ²)	年 平 均 剥 蚀 量 (m/a)	山 坡 后 退 率(平均) (mm/a)	
			宽 (m)	高 (m)	坡 度 (°)	坡 高 (m)	坡 长 (m)	坡 度 (°)					坡 向
向 南 坡	顶段	3 510—3 490	58	1.9	0.88	25	4.5	8	34	152	38.79	0.0084	8.4
	中段	3 490—3 421	200	3.0	0.7	14	18.9	30	39	205	168	0.0028	2.8
	底段	3 421—3 400	60	2.6	0.5	11	54.1	86	39	205	31.2	0.0006	0.6
向 北 坡	顶段	3 510—3 480	190	4.1	1.39	20	30.8	50	38	330	433.12	0.0046	4.6
	三段	3 480—3 430	65	2.3	1.50	41	15.0	25	37	218	89.70	0.0055	5.5
	二段	3 430—3 400	276	2.7	0.375	8	50.3	90	34	340	109.14	0.00045	0.45
底段	3 400—3 385	217	4.3	0.38	5	70.7	110	40	0	141.83	0.00059	0.59	

表 2 玉希莫勒盖达坂寒冻风化碎屑堆体积和剥蚀率统计(1981—1990 年积累量平均)

Table 2 Depositional amount of gelifraction debris and the denudation rate at Yuximolegai Pass

位 置	海 拔 (m)	路 长 (m)	碎 屑 堆			补 给 区			碎 屑 积 累总量 (m ³)	补 给 区 面 积 (m ²)	年 平 均 剥 蚀 量 (m/a)	山 坡 后 退 率(平均) (mm/a)	
			宽 (m)	高 (m)	坡 度 (°)	坡 高 (m)	坡 长 (m)	坡 度 (°)					坡 向
向 南 坡	顶段	3 428—3 398	368.1	2.55	2.33	41	5.25	6.06	56	158	874.83	0.0392	39.2
	三段	3 380—3 398	225	2.00	1.40	42	9.50	10.97	54	80	252.00	0.0102	10.2
	二段	3 329—3 380	623.5	1.23	1.59	37	6.43	7.43	51	145	487.75	0.0105	10.5
底段	3 280—3 329	601.8	0.90	1.44	35	9.05	10.45	56	65	311.97	0.0050	5.0	
向 北 坡	顶段	3 428—3 392	78	2.05	1.725	34	9.0	10.40	67	266	110.33	0.0157	15.7
	底段	3 392—3 280	253.5	0.9	1.715	30	9.5	10.97	74	38	156.51	0.0056	5.6

表 3 天山冰达坂寒冻风化碎屑堆积量和剥蚀率统计(1960—1990)

Table 3 Depositional amount of gelifraction debris and the denudation rate at Bindaban Pass

位置	海拔 (m)	路长 (m)	碎屑堆(平均值)			补给区(平均值)		碎屑积 累总量 (m ³)	补给区 面积 (m ²)	年平均 剥蚀量 (m/a)	山坡后 退速度 (mm/a)	
			宽 (m)	高 (m)	坡度 (°)	坡长 (m)	坡向 (°)					
向 南 坡	AB	3 920—4 010	170	1.32	1.00	37	76	219	89.76	12 920	0.00023	0.23
			370	2.28	1.78	38	191	172	600.64	70 670	0.00028	0.28
			370	1.43	1.12	38	157	170	237.04	58 090	0.00014	0.14
			360	2.17	1.69	38	75	171	528.09	27 000	0.00065	0.65
			290	2.11	1.59	37	115	176	389.17	33 350	0.00039	0.39
			160	2.00	1.25	32	175	200	160.00	28 000	0.00019	0.19
	CD	3 880	536	1.83	1.14	32	49.3	158	447.28	26 424.81	0.00056	0.56
	DE	3 800—3 880	713	2.32	1.51	33	59.8	160	999.11	42 637.4	0.00078	0.78
	EF	3 760—3 800	1 062	1.75	1.32	37	99.9	167	981.29	106 093.8	0.00031	0.31
	FG	3 600—3 760	1 285	0.70	0.31	24	166.5	182	109.19	213 952.5	0.00002	0.02
向 北 坡	GH	3 960—4 010	320	1.98	1.34	34	81	83	339.61	25 920	0.00044	0.44
			360	1.89	1.23	33	238	92	334.76	85 680	0.00013	0.13
			370	0.84	0.59	35	171	92	73.35	63 270	0.00004	0.04
			220	2.36	1.72	36	80	90	357.21	17 600	0.00068	0.68
	HI	3 900—3 960	300	2.67	1.80	34	35	85	576.72	10 500	0.0018	1.8
			350	1.56	1.09	35	50	85	238.06	17 500	0.00045	0.45
			360	1.58	1.03	33	73	85	234.35	26 280	0.0003	0.3
			100	2.18	1.58	36	113	80	137.78	11 300	0.00041	0.41
	IJ	3 880—3 900	280	1.84	1.06	30	50	150	218.44	14 000	0.00052	0.52
	JK	3 850—3 880	170	1.69	1.18	35	95	95	135.61	16 150	0.00028	0.28
	KL	3 589—3 850	240	0.25	0.15	31	275	115	3.6	66 000	0.000002	0.002
			340	1.45	0.94	33	320	90	185.37	108 800	0.00006	0.06
			200	1.24	0.84	34	340	90	83.33	68 000	0.00004	0.04
			410	0	0	25	200	35	0	82 000	0	0
280			0.01	0.01	25	200	35	0.0112	56 000	0	0	
200			0	0	15	200	30	0	40 000	0	0	

蚀的速率是地貌学中的基本理论问题。同时由于人类生活和活动范围的扩展,寒冻风化研究已成为工程建设,如公路、铁路、油气管道、旅游设施和场所、科研站等密切相关的实际应用问题(Harris, 1986)。国际上对此一直十分重视,采用各种方法研究寒冻风化剥蚀速率和主要的影响因素(French, 1986; Barsch, 1977; Gray, 1973; Jahn, 1976; Luckman, 1972)。国内李树德等(1981)曾对冰达坂不同高度和坡向的 3 段,总长 300 m 路段风化碎屑产生的剥蚀率进行过讨论。

表 4 天山冰达坂基岩寒冻风化剥蚀率和山坡后退速度概括

Table 4 The mean depositional amount and denudation rate at Bindaban Pass

位置	海拔 (m)	路长 (m)	寒冻风化 碎屑积累 量 (m ³)	碎屑补给 区面积 (m ²)	补给区受到的 平均剥蚀速率 (m/a)	山坡平均 后退速度 (mm/a)	
向 南 坡	AB	3 920—4 010	1 720	2 004.7	230 030	0.00029	0.29
	CD	3 880	536	447.28	26 426.8	0.00056	0.56
	DE	3 800—3 880	713	999.11	42 637.4	0.00078	0.78
	EF	3 760—3 800	1 062	981.29	106 093.8	0.00031	0.31
	FG	3 600—3 760	1 258	109.19	213 952.5	0.00002	0.02
向 北 坡	GH	3 960—4 010	1 270	1 104.93	192 470	0.00019	0.19
	HI	3 900—3 960	1 110	1 186.91	65 580	0.0006	0.6
	IJ	3 880—3 900	280	218.44	7 280	0.00052	0.52
	JK	3 850—3 880	170	135.61	3 230	0.00028	0.28
	KL	3 589—3 850	1 670	272.31	486 800	0.00002	0.02

注: 统计的废弃公路总长 9 816 m, 路面上寒冻风化碎屑的堆积总量 7 459.77 m³, 碎屑补给区的总面积 1 374 500.5 m², 剥蚀率总平均 0.00018 m/a, 山坡平均后退速度为 0.18 mm/a; 阳坡的平均剥蚀率为 0.00024 m/a, 山坡后退速度 0.24 mm/a; 阴坡的平均剥蚀率为 0.00013 m/a, 山坡后退速度 0.13 mm/a。

寒冻风化破碎的主导因子是温度和湿度。温度的升降可以引起岩石各部分的差异膨胀和收缩, 岩石孔隙中的水结冰对岩石产生压力, 引起岩石的崩解。湿度主要影响岩石孔隙和裂隙中的含水量, 含水量影响冻结时孔隙冰产生压力的大小。因此岩石的孔隙率, 节理的密度和节理裂隙的宽度以及岩石组成的特点均对寒冻作用产生影响。朝向不但影响日照强度, 也影响温度和湿度。下面分别讨论各影响因素及风化作用的特点。

3.1 海拔的影响

高度对寒冻风化作用强度和速度总的趋势是随着海拔的增加, 风化剥蚀速率增大(表 1—4)。如哈希勒根达坂阳坡由海拔 3 400 m 至 3 510 m, 剥蚀速率平均值由下部的 0.0006 m/a, 0.0028 m/a 增至 0.0084 m/a, 增加到 14 倍; 阴坡由 0.00059 m/a 增至 0.0046 m/a, 增加 7.8 倍。玉希莫勒盖达坂阳坡底段(3 280—3 329 m)年均剥蚀量是 0.005 m/a, 向上增至 0.0105 m/a, 0.0102 m/a, 最后在分水岭达 0.0392 m/a(海拔 3 398—3 428 m), 顶段是底段的 7.8 倍; 阴坡底段(3 280—3 392 m)的平均剥蚀率为 0.0056 m/a, 顶段(3 392—3 428 m)为 0.0157 m/a, 顶段是底段的 2.8 倍。冰达坂阳坡剥蚀率为 3 600—3 880 m, 由 0.00002 m/a 增至 0.00078 m/a; 由 3 880 m 至 4 010 m 略有减小, 由 0.00078 m/a 减为 0.00029 m/a。阴坡 3 589 m 至 3 960 m, 剥蚀率由 0.00002 m/a 增至 0.0006 m/a, 再向上(3 960—4 010 m)减为 0.00019 m/a。风化速率呈现由下向上增加, 这一极值后又逐渐减小的现象。出现这种现象的原因与岩性、构

造和湿度条件的差别有关。

3.2 坡向和坡度的影响

坡向对寒冻风化剥蚀率的影响由表 1—4 看得非常明显, 阳坡(南坡)的平均剥蚀率均大于阴坡(北坡)。坡向通过影响基岩的温度和降水等条件来对风化作用施加影响, 阳坡的日温差较大, 特别是受太阳直射的基岩面的日温差比阴坡更大, 全年温度在 0℃ 上下波动的次数多, 使基岩经受相对多的冻融循环次数, 而每次循环的温差变化大, 有利于岩石的崩解。如哈希勒根达坂阳坡的平均剥蚀率是 0.002 m/a, 阴坡为 0.0013 m/a, 前者是后者的 1.6 倍。玉希莫勒盖达坂阳坡和阴坡的平均剥蚀率分别是 0.0123 m/a 和 0.0077 m/a, 前者是后者的 1.54 倍。冰达坂阳坡和阴坡的平均剥蚀率分别是 0.00024 m/a 和 0.00013 m/a, 阳坡是阴坡的 1.85 倍。因此, 坡向的差异剥蚀作用是非常明显的。

由表 1—4 反映出基岩坡度对风化作用的影响没有明显的规律, 并没有出现坡度越大剥蚀作用越大的现象。事实上, 坡度的影响往往被岩性和构造因素所掩盖。

3.3 温度和湿度的影响

天山山区的气象资料比较少, 目前收集到的有乌鲁木齐河源大西沟气象站, 中国科学院天山站, 巩乃斯河中国科学院雪崩站和独山子气象资料。另外刘潮海等(1988)对天山冰川区夏季温度的研究, 张金华等对乌鲁木齐河源区温度梯度的研究(邱国庆, 1983)也有助于对 3 处达坂温度的分析。冰达坂下大西沟气象站海拔 3 540 m, 年均温 -5.34℃, 年降水量 430 mm。乌鲁木齐河源区温度梯度在海拔 1 830—3 000 m 为 0.33—0.37℃/100 m, 海拔 3 000—4 000 m 为 0.66℃/100 m。位于玉希莫勒盖达坂南坡谷底的雪崩站(43° 20' N, 84° 39' E)海拔 1 776 m, 年均温 1.3℃, 年平均降水 840 mm。位于哈希勒根达坂北的独山子海拔 700 m, 年均温 7.5℃。根据以上资料估算出哈希勒根达坂、玉希莫勒盖达坂和冰达坂寒冻风化研究段的温度和降水量见表 5。3 个地点相比较, 温度状况相类似, 均位于永久冻土区, 雪线之下。降水差别比较明显, 玉希莫勒盖达坂区的降水最多, 冰达坂降水最少。因此, 降水的多少和寒冻风化剥蚀率呈正相关, 可见湿度(水分)条件是影响风化的主导气候因子。阴坡虽然平均气温要低于阳坡, 但阳坡的风化速率大于阴坡(如哈希勒根达坂), 说明低气温和剥蚀率不是一种简单的相关关系。在低温条件下气温在 0℃ 上下波动的次数和温度升降的速度决定风化强度, 因而温差变幅大的阳坡更有利于寒冻风化。

3.4 岩性构造及地形的影响

表 6 为 3 处达坂寒冻风化作用特别强烈地段风化碎屑剥蚀率统计。在哈希勒根达坂阳坡顶段(海拔 3 490—3 510 m)寒冻风化速率最快为 0.0084 m/a; 阳坡中段(海拔 3 421—3 490 m)构造节理密集的 90 m 路段, 其剥蚀率为 0.00764 m/a, 大于平均值 0.0028 m/a。哈希勒根达坂阴坡寒冻风化剥蚀率亦是在构造节理十分密集的地段最强烈, 如底段(海拔 3 385—3 400 m)为 0.0054 m/a, 二段(海拔 3 400—3 430 m)为 0.0011 m/a

表 5 研究区气象资料(据刘潮海, 1988; 胡汝骥, 1989)

Table 5 The climatic data of the studied areas

地 点	海 拔 (m)	坡 向	年平均气温 (°C)	年平均降水 (mm)
哈希勒根达坂	3 385—3 510	阳坡	-5.2—6.0	500—600
		阴坡	-5.8—6.7	
玉希莫勒盖达坂	3 280—3 420	平均	-4.8—5.7	600—700
冰达坂	3 589—4 010	阴坡	-5.6—8.4	430

表 6 寒冻风化作用异常强烈段统计表

Table 6 Measurement data of specially strong gelifraction sites

地 点		碎屑沿公路 延伸长 (m)	碎屑宽 (m)	碎屑高 (m)	碎屑坡度 (°)	补给区 坡长 (m)	碎屑堆 积量 (m ³)	剥蚀速率 (m/a)	
哈 希 勒 根 达 坂	阳坡	顶段	58	1.9	0.88	25	8	38.79	0.0084
		中段	60	3.2	1.79	34	30	137.5	0.00764
	阴坡	二段	100	3.8	0.65	34	90	98.8	0.0011
			87	4.4	0.4	10	90	61.2	0.00078
		底段	90	4.5	1.5	20	50	243	0.0054
玉 希 莫 勒 盖 达 坂	阳坡	225	3.3	3.1	37	8.25	920.7	0.0496	
	阴坡	57	2.7	2.4	36	7.5	147.7	0.0346	
冰 达 坂	阳坡	AB	10	3.6	2.22	32	75	32	0.00142
		CD	30	3.9	2.07	28	12	96.9	0.00897
		DE	263	2.4	1.2	27	10	303	0.00384
			90	2.5	1.4	30	45	126	0.00104
		EF	60	3.9	1.8	25	7	168.5	0.0134
		FG	50	1.7	0.53	18	85	18	0.00014
	阴坡	GH	10	3.1	2.01	33	54	24.9	0.00154
			50	3.3	1.75	28	70	115.5	0.0011
			10	3.9	2.29	30	66	35.7	0.0018
		HI	10	4.7	2.63	29	20	49.4	0.00824
		IJ	3	3.5	1.75	27	17	7.35	0.0048
		JK	5	3.0	1.68	30	8	10.1	0.0084
		KL	20	1.7	0.9	28	300	12.2	0.00007
			20	3.8	2.56	34	340	77.8	0.00038

和 $0.0078 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{a}$, 分别是均值(表 1)的 9.15 倍, 1.73 倍和 2.44 倍。玉希莫勒盖达坂寒冻风化最快段为顶段, 其阳坡、阴坡寒冻剥蚀最大为 0.0496 m/a 和 0.0346 m/a , 它们分别是相应平均值的 1.27 倍和 2.2 倍。原因是该处的火成岩易发生寒冻崩解。从表 6 可以看出, 冰达坂局部地段的剥蚀率可以大出均值数倍。影响寒冻风化速率的主要因素是节理的密集程度, 特别是有断裂带通过的地段, 如玉希莫勒盖达坂, 寒冻风化尤其快。岩性的影响也是很明显的, 冰达坂处的眼球状片麻岩比片岩类易发生崩解。另外局部的地形洼地处风化碎屑堆积量大, 剥蚀速率较快, 可能是洼地形提供了有利的水分和温度条件, 如冰达坂阳坡的 EF 段和阴坡的 JK 段(表 6)。冰达坂阳坡的 CD 段和阴坡的 HI 段节理较密集处基岩剥蚀率高。

由于构造、岩性和地形条件的影响, 局部的寒冻风化速度可以很大。如哈希勒根达坂阳坡剥蚀率最大为 0.00764 m/a 是均值的 3.8 倍; 阴坡最大值 0.0054 m/a 是均值的 4.2 倍。玉希莫勒盖达坂剥蚀率最快为 0.0496 m/a 是均值的 4 倍, 阴坡最大值 0.03455 m/a , 是均值的 4.5 倍, 以及冰达坂阳坡最快值是均值的 37 倍, 阴坡最大值是平均值的 65 倍。

表 7 天山与其它地区寒冻风化引起基岩剥蚀速率比较

Table 7 Comparative denudation data of gelifraction among Tianshan area and other periglacial regions in the world

地 点	气 候	岩 性	基岩剥蚀速率 (mm/a)		备 注
			范 围	平均	
天山玉希莫勒盖达坂	大陆性,高山	安山岩、砂岩、角砾岩	5—39.2	11.5	1990
天山哈希勒根达坂	大陆性,高山	花岗岩、大理岩	0.45—8.4	1.4	1990
天山冰达坂	大陆性,高山	片岩、片麻岩	0.02—0.78	0.18	1990
瑞士阿尔卑斯山	海洋性,高山		2.5		Barsch, 1977
斯匹兹伯尔根 (Longyeardalen)	海洋性,北极		0.3		Jahn, 1976
Jasper 国家公园(加) Surprise 谷	大陆性,高山	灰岩	0.06—0.26		Luckman, 1972
育空 Ogilve 和 Wernecke 山脉	大陆性,北极 高山	正长岩,二长岩	0.003—0.019		Gray, 1973
斯匹兹伯尔根	海洋性,北极	灰岩、燧石岩	0.05—0.5		French, 1976 (Table 7.4)
瑞典拉普山	海洋性,北极,高山	片岩、闪岩	0.04—0.6		
挪威北部	海洋性,北极	花岗岩	0—0.7		
美国落基山	大陆性,高山		0.3—4.6		
加拿大育空地区	大陆性,北极	石英岩、白云岩、页岩	0.002—0.17		
奥地利阿尔卑斯山	海洋性,高山	片岩、片麻岩	0.7—1.0		
波兰塔特拉山	大陆性,高山	碳酸盐岩	0.3—3.0	0.71	

3.5 与世界上其它地区的比较

表 7 中列出了天山与世界上其它冰缘环境基岩剥蚀速率、环境条件和岩性。通过对比可以看出,地处中纬的天山、阿尔卑斯山、塔特拉山、落基山具有较高的寒冻风化剥蚀率,即中纬高山冰缘环境更有利于基岩的寒冻崩解。这与这些地区冻融强度大、构造条件有利是分不开的。相对来说,海洋性的极地环境基岩剥蚀的速率较小。

通过以上分析,得出以下认识:

(1) 天山高海拔山区(3 200—4 000 m)由于寒冻风化引起的基岩剥蚀速率,在哈希勒根达坂的平均值为 0.0014 m/a,玉希莫勒盖达坂的平均值为 0.015 m/a,冰达坂的平均值为 0.00018 m/a。

(2) 影响寒冻风化速率的主要因素有海拔、坡向、温度和降水、岩性构造和地形。寒冻风化剥蚀率随高度的增加而加大,但岩性构造和水分条件会使之复杂化。阳坡的风化速率大于阴坡。温度在 0℃ 上下波动的次数和强度有利于风化。降水量和空气温度大,会加速寒冻风化。颗粒粗大、成分复杂、构造破碎部位的风化速度大。局部的地形洼地有利于寒冻风化。全球对比显示出中纬高山冰缘环境最有利于寒冻风化。

致谢:参加野外工作的还有张兵、李靖,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 刘潮海 *et al.*, 1988. 中国天山冰川区气温和降水的初步估算. 冰川冻土, 10(2): 151—159
- 李树德 *et al.*, 1981. 天山乌鲁木齐河源胜利达坂岩石风化剥蚀速率初探. 冰川冻土, 增刊(3): 114—119
- 邱国庆 *et al.*, 1983. 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, 21—22
- 胡汝骥 *et al.*, 1989. 山区道路雪害防治. 科学技术文献出版社
- Barsch D, 1977. Eine abschatzung von schattproduktion und schuttertransport in bereich aktiver blockgletscher der schweizer alpen, *Leistchrift für Geomorphologie*, 21: 79—86
- French H W, 1976. The periglacial environment, 148, Table 7.4
- Gray J T, 1973. Geomorphic effects of avalanches and rock-falls on steep mountain slopes in the central yukon Territory, in Fahey B D and Thompson R.D. (eds), *Research in Polar and Alpine Geomorphology*, Geo Abstracts, Norwich, 107—117
- Harris S A, 1986. The permafrost environment. Groom Helm London and sydney
- John A, 1976. Geomorphological modelling and nature protection in Arctic and subarctic environment. *Geoforum*, 7: 121—137
- Luckman B H, 1972. Some observations on the erosion of talus slopes by snow avalanches in slaymaker and Mcpherson (eds), *Mountain Geomorphology*, Tantul research, Vancouver, 85—100

The Denudation Rate of Gelifraction and its Influential Factors in the Periglacial Environment of Tianshan Mountains (in China)

Liu Gengnian

(Department of Geography, Peking University)

Xiong Heigang

(Department of Geography, Xinjiang University)

Abstract

The gelifraction created debris along the two highways, which pass through the Tianshan Mountains, offers possibility to measure and estimate the frost denudation rate and its main influential factors. The mean rate of gelifraction denudation at Yuximolegai Pass (3 280—3 428m above sea level) is 0. 0115 m / a. The mean rate of gelifraction denudation at Haxilegen Pass (3 385—3 510 m) and Bindaban Pass (3 589—4 010 m) is 0.0014 m / a and 0.00018 m / a, respectively. The main influential factors are altitude, aspect, temperature and precipitation, lithological characters and structure and relief.

Key words: Gelifraction, denudation rate, influential factors