

文章编号: 1008-2786-(2015)2-166-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000022

# 中国西部冰川冰尘的粒度及矿物组成

李全莲<sup>1</sup>, 张成龙<sup>2</sup>, 武小波<sup>1</sup>, 姚平<sup>3</sup>, 蒲建辰<sup>1</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所/冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;

3. 青藏高原环境变化与地表过程重点实验室, 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 利用 Mastersizer 2000 型激光粒度分析仪和 X-射线衍射仪分析了新疆木扎尔特冰川、唐古拉山小冬克玛底冰川、东昆仑山玉珠峰冰川和祁连山七一冰川冰尘的粒度组成和矿物特征。结果表明, 这 4 条冰川冰尘的粒度组成以粉砂(2~63 μm) 为主, 占 62.32%~86.46%; 粘土(< 2 μm) 含量最低, 占 2.77%~7.40%。平均粒径的顺序依次是: 木扎尔特冰川(84.96 ± 45.14 μm) > 玉珠峰冰川(38.96 ± 13.94 μm) > 小冬克玛底冰川(34.76 ± 11.41 μm) > 七一冰川(20.21 ± 15.81 μm)。矿物成份分析表明, 冰尘中的碎屑矿物含量高于粘土矿物, 主要以石英和长石为主。除木扎尔特冰川之外, 其他 3 条冰川冰尘中的伊利石含量在粘土中最高。七一冰川的伊利石和高岭石含量都高于玉珠峰冰川和小冬克玛底冰川。伊利石和高岭石等均为铝硅酸盐的风化分解产物, 来源于陆源物质。伊利石和高岭石含量自东向西减少, 说明木扎尔特冰川冰尘主要来自寒冷环境下岩石经过的物理风化而非化学风化形成的局地粉尘。其他 3 条冰川冰尘除局地来源外, 还有一部分是陆源物质经一定距离搬运后物理风化分解而成。

**关键词:** 青藏高原; 冰川; 冰尘; 粒度; 矿物组成

中图分类号: P931.4

文献标志码: A

冰川上的矿物颗粒和有机质可以形成深色的冰尘<sup>[1]</sup>(cryoconite), “cryo”的意思是 ice(冰); “conite”的意思是 dust(尘埃)。冰尘通常是冰川上一个冬季至次年夏天的积雪和多年老冰融化时释放出来的新旧沉积物的混合物<sup>[2]</sup>。冰尘<sup>[3]</sup>中的矿物颗粒主要来自冰碛或者冰川周围的岩石碎屑, 有机质主要来自大气中的孢粉、植物碎片和土壤颗粒以及一些细菌、死亡的藻类、细菌降解有机物而形成的腐殖质。最近研究表明<sup>[4]</sup>, 全球变暖导致世界上很多冰川退缩和变薄。因为冰尘的颜色较深, 吸收了大量的太阳辐射, 能够降低冰川表面的反照率, 加速了冰川消融, 影响了冰川的物质平衡<sup>[5-6]</sup>。目前已有研究证实: 冰川上冰尘存在区域的消融速度是没

有冰尘存在区域的 3 倍<sup>[7]</sup>, 尤其是尘埃含量较高的亚洲冰川, 冰尘经常出现在整个冰川的消融区<sup>[8]</sup>。过去冰尘的研究主要是集中在冰尘的结构和形成过程以及他们对冰川物质平衡的影响等方面<sup>[9-10]</sup>, 对冰尘的粒度和矿物组分特征研究的比较少。本文主要以中国西部 4 条冰川的冰尘为研究对象, 研究了其粒度组成和矿物特征, 并对其来源进行初步探讨。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集与处理

2010 年, 由西向东分别选取容易接近、又有相关研究基础的 4 条冰川(图 1): 新疆木扎尔特冰川

收稿日期(Received date): 2014-01-19; 修回日期(Accepted): 2014-04-11。

基金项目(Foundation item): 中科院重点部署项目(KJZD-EW-G03-01); 国家自然科学基金(41201063, 41471057, 41171056)。[Supported by CAS(KJZD-EW-G03-01); National Nature Sciences Foundation of China(41201063, 41471057, 41171056).]

作者简介(Biography): 李全莲(1976-), 女, 汉族, 甘肃景泰人, 博士, 副研究员, 主要从事雪冰化学研究。[Li quanlian(1976-), Female, the Han nationality, born in Jingtai, Gansu, PhD, Associate professor, mainly engaged in the snow and ice chemistry.] Contact phone No: 0931-4967344; E-mail: Liql@lzb.ac.cn

(2010年10月在消融区收集3个样品,当时冰面积雪部份融化)、唐古拉山小冬克玛底冰川(2010年5月在消融区收集4个样品,当时冰面积雪部分融化)、东昆仑山玉珠峰冰川(2010年5月在消融区收集5个样品,当时冰面积雪部分融化)和祁连山七一冰川(2010年8月在消融区收集12个样品,当时冰面积雪大量融化),用玻璃广口瓶在不同海拔收集冰尘样品,经冰箱冷冻后带回实验室。冰尘采样位置见图1,具体样品信息见表1。玻璃广口瓶用之前用洗液浸泡,然后用自来水冲洗数遍,最后再用超纯水反复冲洗,高温400℃连续烘烤6h后,用聚乙烯袋包装,待用。样品经过冷冻干燥后,用于粒度和矿物成分分析。

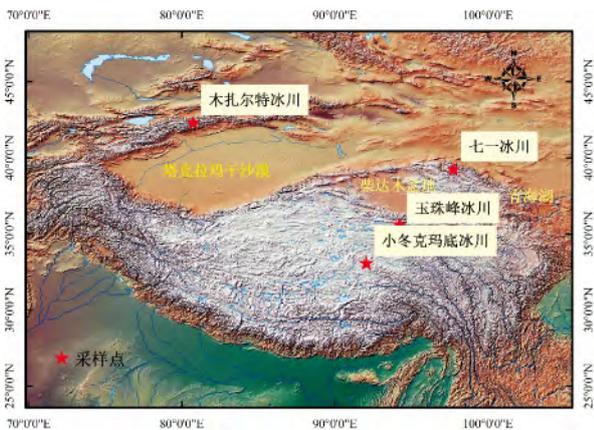


图1 本研究4条冰川的位置

Fig. 1 Location of the sampling sites of the four glaciers

## 1.2 分析方法

**粒径:** 使用青藏高原环境变化与地表过程重点实验室 Mastersizer-2000 型激光粒度分析仪对所采集的沉积物样品进行粒度分析,其粒度测量范围为0.02~2000 μm,重复测量误差<3%。具体前处理步骤如下:精确称量0.8g自然风干样品放入500 mL的烧杯中,加入10 mL 10%的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,加热至充分反应,以去除有机质。当不再有气泡产生后,取下烧杯,冷却,加入10 mL 10%的HCl,再加热至充分反应,以去除次生碳酸盐类。当不再有气泡产生后,取下烧杯,冷却,加入500 mL超纯水,静置72 h。抽取烧杯上层溶液至150 mL,再加入350 mL超纯水,静置72 h。重复上面的步骤,直至用标准pH试纸检验溶液呈中性,抽取烧杯上层溶液至150 mL,加入5 mL 0.05 mol/L (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>后搅拌均匀,充分分散。将激光粒度仪超声波强度设为12.50,转速2500转/

min,遮光度在18%~20%间,依次测量各样品5次。

**矿物成分:** 使用中国科学院兰州地质研究所的日本理学公司生产的D/Max-3B X-射线衍射仪。测试条件:Cu靶,管电压40 kV,管电流25 mA,扫描速率4°/min,步进连续扫描。采用XRD进行冰尘的矿物相分析,用铝框架制样法。横坐标记录为2θ,纵坐标记录为以CPS为单位的相对强度。选取木扎尔特冰川2个样品、小冬克玛底冰川3个样品、玉珠峰冰川3个样品和七一冰川5个样品进行X-射线衍射仪分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 冰尘的粒度特征

冰尘不仅直接记录了冰川表面粉尘源区的气候和环境变化特征,还能反映不同地区和不同高度的大气粉尘变化差异。同时冰尘粒径的分布特征又与风力大小、传输距离和高度以及沉降机理等都有密切关系。表1和表2数据是根据现行沉积学应用最为广泛的温德华粒级分类及其与φ值的关系统计计算得到的<sup>[11]</sup>。总体来看,4条冰川冰尘的粒度组成以粉砂(2~63 μm)为主,含量范围是62.32%~86.46%;砂(>100 μm)含量次之,含量范围是5.26%~27.57%;粘土(<2 μm)含量最低,含量范围是2.77%~7.40%。平均粒径(Mz)表示沉积物颗粒的粗细,可以反映沉积物来源和沉积环境的变化<sup>[12]</sup>。表2显示,4条冰川冰尘的平均粒径顺序依次是木扎尔特冰川最高,值为84.96±45.14 μm(平均值±SD);其次是玉珠峰冰川,值为38.96±13.94 μm;然后是小冬克玛底冰川,值为34.76±11.41 μm;七一冰川最低,值为20.21±15.81 μm。研究表明<sup>[11]</sup>,粉尘主要通过干、湿沉积降落至冰川表面。大气粉尘(大气远距离传输的)通常在中亚地区的粒径分布范围为3~25 μm,中值粒径为10左右,但是扬尘起沙的时候通常粒度更大,能达到100 μm以上<sup>[12]</sup>。这4条冰川冰尘的平均粒径数据显示,局地因素对木扎尔特冰川冰尘平均粒径产生了重要的影响。局地粉尘原来就是在寒冻风化作用下破碎的岩块,由于寒冷环境下的岩石主要经受着物理风化而非化学风化及生物风化,因此其破碎的产物必然是粗颗粒的。加之冰川在搬运过程中对其磨蚀作用微弱,所以它们未能得到进一步的破碎以至于变为粉砂和粘土。粗砂粒和细砂粒因其质量较

大,不能在空气中长途悬浮搬运,在大气中停留时间短,很难发生长距离传输,因此,常被认为是局地环流的产物;而粉砂颗粒质量相对较小,易浮动、易分散,极易被气流搬运作长距离传输。粘土颗粒可悬浮于对流层中被搬运到几千米以外<sup>[13]</sup>。玉珠峰冰川、小冬克玛底冰川和七一冰川的平均粒径属于粉砂范畴,这3条冰川的冰尘很大一部分可能是粗砂粒经一定距离搬运后物理风化分解形成。

## 2.2 粒度频率和累积曲线

利用频率分布曲线描述样品的总体粒度特征,能较直观地显示样品中各粒度的相对含量及其对总样的贡献,频率分布曲线也能体现出样品的大多数粒度参数<sup>[14]</sup>。累积曲线是运用粒度分析成果中的累积重量百分比数绘制的图形,其横坐标为粒径大小,纵坐标为各粒级的累积百分含量,累积曲线总是构成“S”形。图1显示了4条冰川冰尘的频率分布曲

表1 4条冰川冰尘的样品信息和粒度组成特征

Table 1 The characteristics of samples information and Particle size distribution of cryoconites in four glaciers

样品编号	取样位置			粒度组成%		
	Latitude ( N)	Longitude ( E)	海拔/m	砂 >100/ $\mu\text{m}$	粉砂 2~63/ $\mu\text{m}$	粘土 <2/ $\mu\text{m}$
QY-1	39°15'06.9"	97°45'08.2"	4 326	13.79	76.73	2.88
QY-2	39°14'59.7"	97°45'11.7"	4 389	10.24	80.83	3.5
QY-3	39°14'53.5"	97°45'13.2"	4 416	4.6	86.06	4.62
QY-4	39°14'46.2"	97°45'14.4"	4 465	2.51	89.60	5.19
QY-5	39°14'42.1"	97°45'15.9"	4 493	2.33	90.20	4.47
QY-6	39°14'35.5"	97°45'18.2"	4 549	3.53	88.56	4.56
QY-7	39°14'29.0"	97°45'28.1"	4 620	6.36	84.99	4.03
QY-8	39°14'22.2"	97°45'37.9"	4 700	4.62	87.04	4.28
QY-9	39°14'15.1"	97°45'48.2"	4 767	5.77	86.29	4.52
QY-10	39°14'16.7"	97°45'49.9"	4 814	2.39	88.58	5.95
QY-11	39°14'05.8"	97°46'78.2"	4 856	1.69	91.01	4.46
QY-12	39°14'96"	97°46'13.1"	4 868	5.3	87.67	0.99
平均值				5.26	86.46	4.12
YZF-1	35°38'25.0"	94°13'18.9"	5 256	4.79	82.98	4.13
YZF-2	35°38'19.6"	94°13'15.6"	5 233	9.0	77.59	3.74
YZF-3	35°38'19.7"	94°13'10.6"	5 217	8.34	74.82	2.59
YZF-4	35°38'10.5"	94°13'06.5"	5 160	27.18	54.78	1.85
YZF-5	35°38'05.8"	94°13'08.9"	5 122	11.78	74.69	4.04
平均值				12.22	72.97	3.27
XDKMD-1	33°04'17.3"	92°45'4.6"	5 657	7.95	77.6	7.48
XDKMD-2	33°04'14.9"	92°45'2.2"	5 642	16.91	65.3	7.03
XDKMD-3	33°04'06.2"	92°45'0.1"	5 613	7.68	79.71	8.56
XDKMD-4	33°04'01.4"	92°45'0.7"	5 589	18.1	65	6.52
平均值				12.66	71.90	7.40
MZRT1	42°19'27.1"	80°45'98.3"	3 294	13.11	76.02	3.93
MZRT2	42°19'45.5"	80°46'54.4"	3 353	38.97	49.40	1.86
MZRT3	42°19'81.7"	80°47'21.1"	3 390	30.62	61.54	2.51
平均值				27.57	62.32	2.77

注: QY: 七一冰川; YZF: 玉珠峰冰川; XDKMD: 小冬克玛底冰川; MZRT: 木扎尔特冰川

曲线和累积曲线的分布特征。如图所示,木扎尔特冰川累积曲线较为平缓,分选很差,粒度分布范围宽。其他3条冰川冰尘样品的累积频率曲线斜率都很大,即线型较陡,集中分布在10~100 μm间,分选差。木扎尔特冰川频率曲线呈双峰或多峰式,粒度区域分布范围广,粗颗粒含量较多,分选很差。由表1数据可知,木扎尔特冰川冰尘中粘土只占总量的0.4%,主要以细砂和粉砂为主,松散且符合一般风动力要求。风扬的粉砂和细砂分别以短程悬浮和变性跃迁方式搬运,而冰川的积雪表面能永久性的捕获粉尘<sup>[15]</sup>,因而木扎尔特冰川表面有利于风成物质的沉积。另外,木扎尔特冰川冰尘采样点距冰川侧碛较近,粗颗粒物易于到达。因此,可初步判断木扎尔特冰川的冰尘以风成作用为主。小冬克玛底冰川和玉珠峰冰川的频率分布曲线类似,它们都分别在10 μm和100 μm附近形成双峰型分布,然而,玉珠峰冰川100 μm附近粒径的含量高于小冬克玛底冰川,说明玉珠峰冰川近距离、低空搬运粉尘物质的输入量要高于小冬克玛底冰川。可能的原因有两个:一方面是由于小冬克玛底冰川的降水量要高于玉珠峰冰川;另一方面,玉珠峰冰川比小冬克玛底冰川接近柴达木盆地和戈壁沙滩,因此,玉珠峰冰川粗颗粒含量较高。七一冰川大部分样品的频率分布曲线呈单峰态,且近正态分布,反映了来源的单一性。主峰位于10~50 μm,以粉砂级颗粒为主。因为七一冰川所在地区的气候主要受西风环流的影响<sup>[16]</sup>,冰尘通常出现于每年消融较多的8月,强烈的冰川消融使得地表覆盖减少,岩石大量裸露,增加了颗粒物的来源。个别样品在100 μm和1 000 μm形成小峰,可能有新的粉尘颗粒加入,使频率曲线由单峰变成了双峰。总的来说,这4条冰川冰尘主要都是来自近距离低空和远源高空气流搬运的两个组分<sup>[17]</sup>,只是各条冰川受气候和地形的影响不同,因此细、粗颗粒所占比重不同。

### 2.3 冰尘的粒度参数

粒度参数是粒度分析解释成因环境的方法之一。它以一定数值定量地表示碎屑沉积物(岩)的粒度大小和分选程度等粒度分布的特征,对于判断沉积物的搬运方式与沉积介质的性质等流体动力条件有着重要的意义<sup>[18]</sup>。标准偏差( $\delta_1$ )表示沉积物的分选性。 $\delta_1 < 0.5$ ,分选好; $\delta_1 = 0.5 \sim 1$ ,分选中等; $\delta_1 = 1 \sim 2$ ,分选差; $\delta_1 > 2$ ,分选很差。七一冰川、玉珠峰冰川和冬克玛底冰川冰尘 $\delta_1$ 的分布范围在

表2 4条冰川冰尘的粒度参数特征

Table 2 The characteristics of Grain parameters of cryoconites in four glaciers

样品名	样品编号	粒度参数			
		$Mz/\mu\text{m}$	$\delta_1$	$S_K$	$K_g$
QY	QY-1	35.96	1.95	0.12	0.93
	QY-2	27.26	1.89	0.09	1.03
	QY-3	19.89	1.65	0.04	1.00
	QY-4	15.03	1.51	0.00	1.02
	QY-5	15.31	1.51	0.00	1.02
	QY-6	16.65	1.61	0.06	0.96
	QY-7	20.89	1.68	0.10	1.05
	QY-8	18.57	1.58	0.01	1.01
	QY-9	17.37	1.72	0.12	1.02
	QY-10	14.16	1.57	0.09	0.91
	QY-11	14.79	1.17	0.40	0.57
	QY-12	26.68	1.41	-0.07	1.11
	平均值	20.21	1.60	0.08	0.97
YZF	YZF-1	5.23	1.77	-0.08	0.90
	YZF-2	4.94	1.85	-0.08	0.89
	YZF-3	4.74	1.71	-0.28	0.90
	YZF-4	3.99	1.87	-0.38	0.79
	YZF-5	4.82	2.01	-0.05	0.93
	平均值	4.75	1.84	-0.17	0.88
TGL	TGL-1	27.78	1.91	0.00	0.89
	TGL-2	43.38	2.17	-0.06	0.67
	TGL-3	22.40	1.95	0.02	0.93
	TGL-4	45.48	2.15	-0.02	0.85
	平均值	34.76	2.04	-0.02	0.84
MZRT	MZRT1	34.59	1.99	0.04	0.89
	MZRT2	121.80	2.57	-0.21	0.82
	MZRT3	98.42	2.37	0.07	0.72
	平均值	84.94	2.31	-0.03	0.81

1.17~2.17,属于分选差。木扎尔特冰川冰尘的分布范围在1.99~2.57,平均值是2.31,属于分选很差,与绝大多数冰川砂的标准偏差数值一致<sup>[19]</sup>。冰川是水的固态流体,属于一种特殊的搬运介质。冰川的搬运与沉积作用,完全受机械沉积作用规律的控制。在冰川搬运碎屑物质的过程中,冰川冰与碎屑颗粒之间,碎屑颗粒与碎屑颗粒之间相互摩擦、碰击的机率极少。同时,碎屑物质的搬运与沉积既不受介质流速的影响,又与碎屑大小、比重和形状无

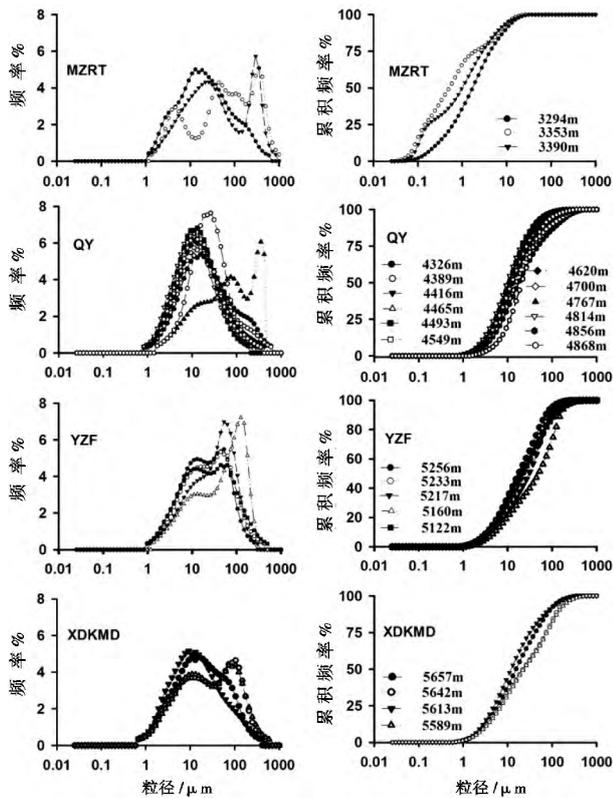


图2 4条冰川冰尘粒度频率和累积曲线

Fig. 2 Frequency and cumulative curve of cryoconites in four glaciers

关。因此,冰尘粒度成分的分异微弱,分选极差,从而形成了与海、湖、河成碎屑沉积物截然不同的结构特征。偏度( $SK_1$ )用于度量粒度分布的不对称性。 $SK_1 = 0$ ,为对称的分布; $SK_1 > 0$ ,沉积物的粒度较粗,且有一个细尾部,称为正偏度; $SK_1 < 0$ ,表示沉积物集中在细粒部分而有一个粗尾部,为负偏度。理论上,海滩相为负偏,河流相为正偏,冰川相偏度不固定<sup>[20]</sup>。4条冰川的 $SK_1$ 变化在正值与负值之间,符合冰碛物偏度的规律特征。冰川对碎屑物质的搬运和沉积方式是很特殊的,它把沿途遇到的各种母岩机械风化产物及冰川侵蚀、刨蚀作用生成的碎屑物质冻结于冰川表面或冰体之内,在适合条件下冰运碎屑物即可以从消融的冰体中停积下来而成为冰面沉积物。因此,冰尘颗粒大小混杂,无分选作用,从而构成了上述的偏度特征。峰度( $K_g$ )是计算频率曲线尾部展开度与中部展开度比例关系的参数,用以说明与正态分布曲线比较时,沉积物粒度频率曲线宽窄尖锐的变化程度。 $K_g = 1$ ,为正态曲线; $K_g < 1$ ,为宽峰平缓曲线; $K_g > 1$ ,为窄峰尖锐曲线。七一冰川的大部分冰尘颗粒样品 $K_g$ 接近于1,呈正态分布曲线。玉珠峰冰川、冬克玛底冰川、木扎尔特冰

川冰尘颗粒 $K_g$ 的分布范围是0.67~0.93, $< 1$ ,说明这3条冰川是宽峰平缓曲线。

#### 2.4 冰尘的矿物组份鉴定

利用X射线衍射对这4条冰川冰尘颗粒的主要矿物组份进行了研究,表3显示了各冰川冰尘颗粒矿物成分含量的平均值。结果表明,这4条冰川都是碎屑矿物含量高于粘土矿物,碎屑矿物总含量均超过67%。木扎尔特冰川冰尘的矿物颗粒只有方解石、石英、黄铁矿和高岭石;其他3条冰川冰尘都主要以石英和长石的含量最高。石英和长石代表岩石圈表层物质,是高温下稳定的硅酸盐矿物,属原生矿物,可以源于地面扬尘,也可以源自工业烟尘和粉尘。冰尘中矿物颗粒的来源主要有地表(土壤和地面沉积物等)风蚀、火山喷发、工业粉尘海盐粉粒和气体转化的微粒等。其中土壤和地表沉积物的风蚀粉尘是冰尘颗粒物中矿物成分的主要来源。

粘土矿物中,除了木扎尔特冰川外,其他冰川都是伊利石含量最高,高岭石次之,然后是绿泥石,蒙脱石的含量最低。这与兰州尘暴沉积物及兰州黄土的粘土矿物特征非常相近<sup>[21]</sup>。因为伊利石是粘土矿物生成的最初产物,除木扎尔特冰川之外,其他3条冰川冰尘中伊利石含量在粘土中最高。七一冰川的伊利石和高岭石都高于玉珠峰冰川和小冬克玛底冰川。伊利石和高岭石等均为铝硅酸盐的风化分解产物,来源于陆源物质。伊利石和高岭石含量自东向

表3 4条冰川冰尘的矿物成分

Table 3 Minerals components of cryoconites in four glaciers /%

矿物名称	MZRT	QY	YZF	XDKMD
石英	1	39.55	53.55	64.7
斜长石	0	15.45	16.5	13.5
钾长石	0	10.55	10.9	9.2
方解石	97.7	0	0.75	0.5
白云石	0	0.45	0.9	0.2
赤铁矿	0	0.6	0	0.4
菱铁矿	0	0.35	2.35	0.2
黄铁矿	0.9	0.05	0	0
碎屑矿物总和	99.6	67	84.9	88.7
伊利石	0	16.8	7.4	7.4
蒙脱石	0	3.3	1.5	0
绿泥石	0	3.6	2	0.8
高岭石	0.4	9.4	4.2	3.2
粘土矿物总和	0.4	33	15.1	11.3

西减少,说明木扎尔特冰川冰尘来自寒冷环境下岩石经过的物理风化而非化学风化形成的局地粉尘。其他3条冰川冰尘除局地来源外,还有一部分是陆源物质经一定距离搬运后物理风化分解而成。

### 3 结论

1. 通过粒度分析,获得了中国西部4条冰川冰尘的粒度参数(平均粒径、分选系数和偏态)、频率分布曲线和概率累积曲线的特征。结果表明,冰川冰尘颗粒的平均粒径以木扎尔特冰川最高,其次是玉珠峰冰川,然后是小冬克玛底冰川,七一冰川最低。粒度组成以粉砂(2~63 μm)为主,粘土(<2 μm)含量最低。4条冰川冰尘呈现分选差和偏度不固定的特征,说明局地因素对这4条冰川冰尘颗粒的记录产生了重要的影响。

2. 矿物成分分析表明,木扎尔特冰川冰尘只有方解石、石英、黄铁矿和高岭石4种矿物成分;其他3条冰川冰尘都主要以石英和长石的含量最高,粘土矿物中都是伊利石含量最高,然后是绿泥石、蒙脱石的含量最低。

### 参考文献(References)

- [1] Gajda R T. Cryoconite phenomena on the Greenland ice cap in the Thule Area[J]. *Canadian Geographer*, 1958, 3: 5-44
- [2] Wharton R A, McKay C P, Simmons G M, et al. Cryoconite Holes on Glaciers, *BioScience*, 1985, 35(8): 499-503
- [3] Takeuchi N, Kohshima S, Segawa T. Effect of cryoconite and snow algal communities on surface albedo on maritime glaciers in south Alaska, *Bulletin of Glaciological research*, 2003, 20: 21-27
- [4] Fujita K. Impact of dust on glacier mass balance of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Arid Land Studies*, 2002, (11-4): 355-360
- [5] Takeuchi N, Matsuda Y, Sakai A, et al. A large amount of biogenic surface dust( cryoconite) on a glacier in the Qilian Mountains, China[J]. *Bulletin of Glaciological Research*, 2005, 22: 1-8
- [6] Takeuchi N, Kohshima S, Goto-azuma K, et al. Biological characteristics of dark colored material( cryoconite) on Canadian Arctic glaciers( Devon and Penny ice caps) [J]. *Proceeding of the Memoirs of National Institute of Polar Research*, Special Issue, 2001, 54: 495-505
- [7] Takeuchi N, Kohshima S, Seko K, et al. Structure, formation, and darkening process of Albedo-reducing material( cryoconite) on a Himalayan glacier: A granular algal mat growing on the glacier [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2001, 33(2): 115-122
- [8] Nagatsuka N, Nozomu T, Takanori N, et al. Sr, Nd and Pb stable isotopes of surface dust on Urumqi glacier No. 1 in western China [J]. *Annals of Glaciology*, 2010, 51(56): 95-105
- [9] Takeuchi N, Kohshima S, Goto-azuma Kumiko, et al. Biological characteristics of dark colored material( cryoconite) on Canadian Arctic glaciers( Devon and Penny ice caps), *Proceeding of the Memoirs of National Institute of Polar Research*, Special Issue, 2001, 54: 495-505
- [10] Bagshaw E A, Tranter M, Fountain A G., et al. Biogeochemical evolution of cryoconite holes on Canada Glacier, Taylor valley, Antarctica [J], *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112(G04S31), DOI: 10.1029/2006JG000350.
- [11] He Zhong. Substance Source of the Holocene Aeolian Loess-soil and its depositional dynamics in Yuhou, Henan Province [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University 2006. [何忠. 河南禹州全新世风成黄土-土壤物质来源与沉积动力研究[D]. 西安: 陕西师范大学 2006.]
- [12] Asselman N E M. Grain size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, vier wall, the Netherlands [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1999: 69(1): 51-61
- [13] Dong Z W, Li Z Q, Characteristics of atmospheric dust deposition in snow on Glacier No. 72, Mt Tuomuer, China [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2011, 43(4): 517-526
- [14] Dong Z W, Li Z Q, Wang F, et al. Characteristics of atmospheric dust deposition in snow on the glaciers of the eastern Tien Shan, China [J]. *Journal of Glaciology*, 2009, 55(193): 797-804
- [15] Li Yulin, Tuo Wanquan, Cui Jianhen. Comparison of particle size between aeolian dusts Collected under dust event and non dust event [J]. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(4): 644-647 [李玉霖, 拓万全, 崔建垣, 兰州市沙尘和非沙尘天气降尘的粒度特征比较[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(4): 644-647]
- [16] Simon J B, Kenneth P. A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 26: 1237-1248
- [17] Li Yongneng, Yang Yang, Han Jiankang, et al. Persistent decrease of dust burden for about 100 years over middle-upper troposphere of the southern Taklimakan desert, China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(6): 873-878 [李永能, 杨阳, 韩建康等. 西昆仑山冰芯记录指示的塔克拉玛干沙漠南缘对流层中上部近百年大气尘埃变化趋势[J]. *冰川冻土*, 2006, 28(6): 873-878]
- [18] Pu Jianchen, Yao Tandong, Duan Keqin, et al. Mass balance of the Qiyi glacier in the Qilian mountains: A new observation [J]. *Journal of glaciology and geocryology*, 2005, 27(2): 199-204 [蒲健辰, 姚檀栋, 段克勤, 等. 祁连山七一冰川物质平衡的最新观测结果[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(2): 199-204]
- [19] Shi Yafeng, *Glaciers and their Environments in China* [M]. Beijing: Science Press, 2000: 132-160 [施雅风. *中国冰川与环境* [M]. 北京: 科学出版社 2000: 132-160]
- [20] Zhao X R, Zheng B H, Qin Y W. Grain size effect on PBDE and PCB concentrations in sediments from the intertidal zone of Bohai bay, China [J]. *Chemosphere*, 2010, 81(8): 1022-1026
- [21] Wu Anbing. The Characteristics of grain-size parameters of till and their relation to sedimentary environments [J]. *Journal of Glaciology*

- gy and Geocryology, 1983, 5(2): 47-53 [武安斌, 冰碛物的粒度参数特征及其与沉积环境的关系[J]. 冰川冻土, 1983, 5(2): 47-53]
- [22] Friedman G M, On sorting, sorting coefficients and the lognormality of the grain size distribution of sandstones[J]. Journal of Geology, 1962, 70: 73-83
- [23] Shi Yuxin, Dai Xuerong, Song Zhiguang, et al. Particles size distribution and mineral components of atmospheric particles collected in spring of Shanghai[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(5): 780-785 [师育新, 戴雪荣, 宋之光, 等. 上海春季沙尘与非沙尘天气大气颗粒物粒度组成与矿物成分[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 780-785]

## Grain Size Distribution and Mineral Components of Cryoconites of Glaciers in Western China

LI Quanlian<sup>1</sup>, ZHANG Chenglong<sup>2</sup>, WU Xiaobo<sup>1</sup>, YAO Ping<sup>3</sup>, PU Jianchen<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences/Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China;

2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

3. Key Laboratory of Tibetan Environment changes and Land surface Processes Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** By using Mastersizer 2000 laser particle size analyzer and XRD systems, this paper discusses the characteristics of particle size distribution and mineral components of cryoconites collected from MZRT glacier, XDKMD glacier, YZF glacier and QY glacier in western China. The results show that the cryoconites of these four glaciers are dominated by silt (2-63 μm) and clay (<2 μm), the content of coarse silt and clay accounts for 62.32% ~ 86.46% and 2.77% ~ 7.40%, respectively. The mean particle of cryoconites in these four glaciers are in the sequence of MZRT (84.96 ± 45.14 μm) > YZF (38.96 ± 13.94 μm) > XDKMD (34.76 ± 11.41 μm) > QY (20.21 ± 15.81 μm). The X-ray diffraction analysis data show that the cryoconites samples in these four glaciers contains relatively more mineral materials, and the contents of quartz and feldspar are mainly detrital mineral. In addition to MZRT glaciers, the content of illite in cryoconite clay in other three glaciers is the highest. Because the illite and kaolinite are all the product of mineral weathering and decompose of aluminosilicate, they come from terrestrial matter. The contents of illite and kaolinite decreased from east to west in Tibetan Plateau, indicating that the cryoconites in MZRT glaciers come from local dust formed through grinding and frost weathering during rock deformation, chemical weathering is in its early stages. The cryoconite in other three glaciers come from the terrestrial inputs after transporting at enough of distance, through physical weathering and decomposing.

**Key words:** Tibetan Plateau; glacier; Cryoconites; grain size; mineral components