

各拉丹冬峰东冰川冰、雪、水地球化学特征*

张 文 敬

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 论述了长江之源各拉丹冬峰东坡的尕日曲流域冈加曲巴冰川和水晶矿冰川冰、雪、水样品中的 pH 值、总碱度、总硬度、矿化度, 以及 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , SiO_2 等可溶性离子的含量, 同时讨论了其水化学组成类型。

关键词 各拉丹冬峰 冰川 地球化学

各拉丹冬峰(海拔6 621m)是长江发源地。在各拉丹冬峰周围分布、发育有现代冰川274条, 冰川面积1 013(km)²。其中各拉丹冬主峰区105条, 面积333(km)²[1]。冈加曲巴冰川和水晶矿冰川均位于长江上源之一的尕日曲源头(图1)。冈加曲巴冰川长10.8km, 面积32.4(km)², 冰川末端海拔5 300m、雪线海拔5 820m、上限达各拉丹冬主峰。雪线附近夏季均温-0.9℃, 年均温-12℃, 年降水量470(1987)—604mm(据1989年雪坑资料)。冈加曲巴冰川属典型的大陆性山谷冰川, 也是各拉丹冬峰东坡最大的山谷冰川; 水晶矿冰川长6.0km, 是紧靠冈加曲巴冰川南侧的另一条山谷冰川。

1989年中德青藏高原冰川考察时, 是年8月抵达该地, 首次对上述两条冰川进行科学考察。其中对冰川冰、雪、水地球化学特征进行了考察, 并分别加以采样。所有样品在现场采集时, 按野外考察规范, 直接装入洗净的小型乙烯塑料瓶中加以密封, 考察结束后运回研究所存入低温实验室(温度4℃左右的冰箱内), 后送国家地震局北京地质研究所分析测试中心, 由中心负责人张仲录教授等承担全部分析任务。分析结果见表1。

1 主要离子含量

对样品中 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 离子含量和 HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- 离子含量, 以及 SiO_2 含量进行了测定(见表1), 量纲为 mg/L。

K^+ 和 Na^+ 离子含量用火焰分光光度法测定, 仪器型号为 HG-3型, 标准偏差0.3mg/L(含量为25.53mg/L时); Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子含量用 PE 603型原子吸收分光光度计测定, 标准偏差1.0mg/L(含量为42.20mg/L时); HCO_3^- 用微量滴定管测定, 滴定误差1.42mg/L;

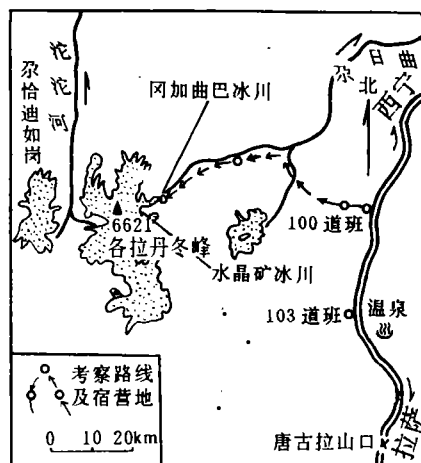


图1 各拉丹冬峰冰川

Fig. 1 Glaciers around Mt. Geladandong

* 1989年中德青藏高原冰川联合科学考察成果之一。

本文收稿日期: 1995-09-06。

表1 各拉丹冬峰东坡冰川冰、雪、水地球地化学特征总表

Table 1 Geochemical composition of glacial ice, snow and water in the East of Mt. Geladandong

样品编号	采样时间	样品类型	采样地点	海拔 (m)	pH	总碱度 ¹⁾	总硬度 ¹⁾	矿化度 (mg/L)	可溶性离子含量 (mg/L)						水化学类型		
									K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		HCO ₃ ⁻	SiO ₂
1	08-13	新雪	冰川侧碛	5570	6.47	—	0.024	0.47	—	—	0.47	—	—	—	痕	—	Ca ²⁺
2	08-13	冰面径流	冰面	5600	7.75	—	0.074	4.43	0.07	0.30	1.18	0.18	—	—	5.40	—	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
3	08-13	老粒雪	冰面	5600	6.75	—	0.690	34.43	0.13	0.20	12.84	0.55	25.80	5.70	—	0.06	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻
4	08-13	侧碛沟中水	冰川侧碛沟	5570	7.50	0.69	0.630	40.75	0.07	1.25	10.50	1.27	痕	痕	42.44	0.12	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
5	08-13	老冰融水	北支冰川	5400	7.58	0.72	0.830	41.32	0.07	1.25	13.74	1.64	痕	痕	44.10	2.00	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
6	08-13	山溪水	冰川右侧沟谷	5400	7.86	—	0.120	387.13	2.76	2.85	107.50	9.50	260.12	—	—	4.40	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻
7	08-13	老冰融水	冰面	5400	7.10	0.10	0.120	6.56	0.07	—	2.06	0.18	2.50	—	3.50	—	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
8	08-13	冰塔冰	冰塔上层	5300	7.05	—	0.110	7.74	0.71	—	1.76	0.27	3.50	—	3.00	—	Ca ²⁺ , K ⁺ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻
9	08-13	冰塔冰	冰塔下层	5300	7.15	—	0.140	12.43	1.89	0.20	2.18	0.36	5.10	—	5.40	—	Ca ²⁺ , K ⁺ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
10	08-13	河水	冰塔以下河流	5290	7.33	0.33	0.306	31.56	0.62	4.70	5.29	0.55	8.60	—	20.00	1.80	Ca ²⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
11	08-16	冻胀丘塘水	两冰川谷汇合处高台地	5450	8.20	2.78	2.300	143.24	0.91	4.10	41.40	4.56	—	—	169.70	7.60	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
12	08-16	河水	冰川末端河流	5430	7.68	0.56	0.510	27.63	0.36	0.92	9.02	0.73	痕	—	30.00	1.60	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
13	08-20	新细粒雪	剖面 I 表层	5600	6.79	—	0.059	2.67	0.07	—	0.88	0.18	—	—	3.00	—	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
14	08-20	粗粒雪	剖面 I 10—20cm	5600	6.70	—	0.044	2.04	0.03	—	0.58	0.18	—	—	2.50	—	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
15	08-20	粗密粒雪夹冰片	剖面 I 25—50cm	5600	7.10	0.23	0.230	9.04	0.13	0.20	2.35	1.36	—	—	10.00	—	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻
16	08-20	粗密粒雪	剖面 I 70—130cm	5600	6.73	—	0.044	2.45	0.09	0.10	0.58	0.18	1.50	—	微	—	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻
17	08-20	附加冰融水	剖面 I 130cm 以下	5600	6.83	0.10	0.140	6.41	0.07	0.22	2.35	0.27	—	—	7.00	—	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
18	08-20	新粒雪	剖面 II 0—10cm	5700	6.67	—	0.044	2.41	0.03	—	0.88	—	—	—	3.00	—	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
19	08-20	粗粒雪夹深霜	剖面 II 20—30cm	5700	6.42	—	0.022	0.61	0.03	0.20	0.29	0.09	—	—	痕	—	Ca ²⁺ , Na ⁺ , Mg ²⁺
20	08-20	污化粗粒雪	剖面 II 30—45cm	5700	6.45	—	0.026	0.54	0.07	—	0.29	0.18	—	—	痕	—	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺
21	08-20	新粒雪	剖面 II 0—10cm	5740	6.42	—	0.290	0.58	—	—	0.58	—	—	—	痕	—	Ca ²⁺
22	08-20	粗粒雪	剖面 II 20—30cm	5740	6.33	—	0.040	0.96	—	0.20	0.58	0.18	—	—	痕	—	Ca ²⁺ , Na ⁺ , Mg ²⁺
23	08-20	污化粒雪夹冰片	剖面 II 43cm	5740	6.84	0.15	0.150	7.14	0.09	—	1.76	0.73	—	—	9.00	0.06	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
24	08-20	渗浸粒雪冰	剖面 II 70—100cm 上层	5740	6.42	—	0.010	0.29	—	—	0.29	—	—	—	痕	—	Ca ²⁺
25	08-20	渗浸粒雪冰	剖面 II 70—100cm 下层	5740	6.24	—	0.020	0.38	—	—	0.29	0.09	—	—	微	—	Ca ²⁺ , Mg ²⁺
26	08-20	黄色附加冰	剖面 II 135—150cm	5740	6.46	—	0.050	0.92	0.07	—	0.58	0.27	—	—	微	—	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺
27	08-20	粗密粒雪	剖面 II 150—160cm	5740	6.51	—	0.030	0.58	—	—	0.58	—	—	—	痕	—	Ca ²⁺
28	08-20	附加冰	剖面 II 160—170cm	5740	7.30	0.27	0.270	14.28	0.07	0.60	4.41	0.64	—	—	17.00	0.06	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻
29	08-20	湖水	冰川末端冰碛湖	5430	7.32	—	0.080	3.94	0.26	0.60	0.53	0.55	—	—	4.00	—	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻
30	08-18	新雪	大本营	5240	6.52	—	0.030	0.58	—	—	0.58	—	—	—	痕	—	Ca ²⁺
1	09-03	温泉水	103道班南	4700	7.80	1.50	16.880	1713.17	45.82	167.00	273.00	38.30	978.76	54.29	112.00	100.00	Ca ²⁺ , Na ⁺ , SO ₄ ²⁻

1) 量纲为 cmol(+) / L; 1—10* 样品采自冈加曲巴冰川; 11* 样品采自冈加曲巴冰川与水晶沟汇合处高台地; 12—29* 样品采自水晶矿冰川。

SO_4^{2-} 和 Cl^- 用比浊751分光光度计测定,标准偏差0.15mg/L(含量为27.54mg/L时)。由于几乎所有样品 pH 值都小于8.0,故样品中偏碳酸根离子 CO_3^{2-} 不存在。

除29*湖水中 Na^+ 离子含量略高于 Ca^{2+} 离子含量外,其余样品中 Ca^{2+} 离子含量都高于其他阳离子含量。最高为加1*温泉水的 Ca^{2+} 离子含量273.00,别的依次是:冰川附近的6*山溪水(107.50),11*冻胀丘塘水(41.40),5*老冰融水(13.74),3*老粒雪(12.84),4*侧碛沟中水(10.50),以及10*,12*河水(5.29和9.02)。而新近沉降的新雪和粒雪中的 Ca^{2+} 离子含量则均低于1.0mg/L。值得注意的是:15*粗密粒雪夹冰片和28*附加冰中的 Ca^{2+} 离子含量介于新降雪的 Ca^{2+} 离子含量与其他各类老冰及老冰影响程度较深的样品的 Ca^{2+} 离子含量之间,这反应了两者之间的混合作用。由此可见,样品沉积年代越老, Ca^{2+} 离子含量就愈高。再则冰川融水进入下游的非冰川区之后, Ca^{2+} 离子含量骤增。29*样采自水晶矿冰川末端终碛湖,但其 Ca^{2+} 离子含量比较低,这可能是上层湖水主要来源于当时冰川表面的季节积雪融水。考察时一个大天气过程刚结束,冰川表面全被新雪所覆盖。

SiO_2 实际上代表了硅酸根,即 SiO_3^{2-} 离子含量。它的存在主要反映区域冰川沉积环境中硅酸盐类的影响,因此在比较纯的新降雪中几乎见不到它,而仅存在于一些受地表风化物影响较强的样品中。但其含量远不能与占优势的 Ca^{2+} , Mg^{2+} 等离子含量相比。

从表1中还可可见,一些样品中 HCO_3^- 离子含量与 Ca^{2+} 离子含量成对应趋势。比如:11*样品中 HCO_3^- 离子含量和 Ca^{2+} 离子含量分别为169.70和41.40,5*样品分别为44.10和13.74,4*样品分别为42.44和10.50。而新近沉降的积雪样品中 Ca^{2+} 离子含量较低,且其中 HCO_3^- 离子含量也普遍偏低甚至仅为痕微量级。此外除加1*温泉水样和3*老粒雪样外,绝大多数水体中 Cl^- 离子含量近于0。

2 pH 值

样品的 pH 值6.24(25*)—8.20(11*)。除11*样品的 pH 值8.20外,其余样品的 pH 值均<8.00。对样品 pH 值作出排列后,则具以下特征(图2)。

全部雪样品的 pH 值6.00—7.00,平均6.56,而多数新降雪样品的 pH 值低于6.50,比如:19*,20*样品均采自水晶矿冰川海拔5700m处一深不足45cm的浅层雪坑中,代表的是当年春夏降雪,pH 值分别为6.42和6.45。而处于海拔5740m一雪坑(深200cm)中的70—100cm的样品25*pH 值低达6.24,成为各拉丹冬峰东现代冰川系统中 pH 值最低者。据年层推算,该样品最早为1988年所沉积。区内新近降雪样品 pH 值所出现的弱酸性污染趋势值得重视。因为现代人类工业化所引起的环境污染可能已波及到青藏高原腹地了。当然与我国某些季风海洋性冰川区相比,本区所出现的问题还不算突出,因为别的地区个别样品 pH 值已显现4.25^[2],表现出严重酸性污染。冰川冰及受冰川冰融水强烈影响的水体,比如冰-雪混合融水、冰前河道水 pH 值均>7.00,平均7.34,近呈中性。粒雪夹冰片和附加冰的 pH 值亦呈中性。这说明:pH 值较高的老冰川冰融化后,渗入新近沉降的粒雪中,再冻结从而使该类样品 pH 值得以增加。样品15*(pH 值7.10)和样品28*(pH 值7.30)可能属此种情况。目前许多沉积物 pH 值的减小可能与近代人类活动(尤其与工业化酸性

污染)有关. 而现代冰川上的冰川冰多数沉积年代较久,在大规模工业污染之前就形成,所以冰川冰的 pH 值几乎均高于近年来沉降的新雪和由新雪变质而成的粒雪的 pH 值. 它们未被酸性污染. 冰川河流、湖泊、冻胀丘塘水体的 pH 值高于冰川冰的 pH 值,则说明前些水体除冰川融水补给的影响外,更受河道沿程和湖塘局部地质地理环境的影响.

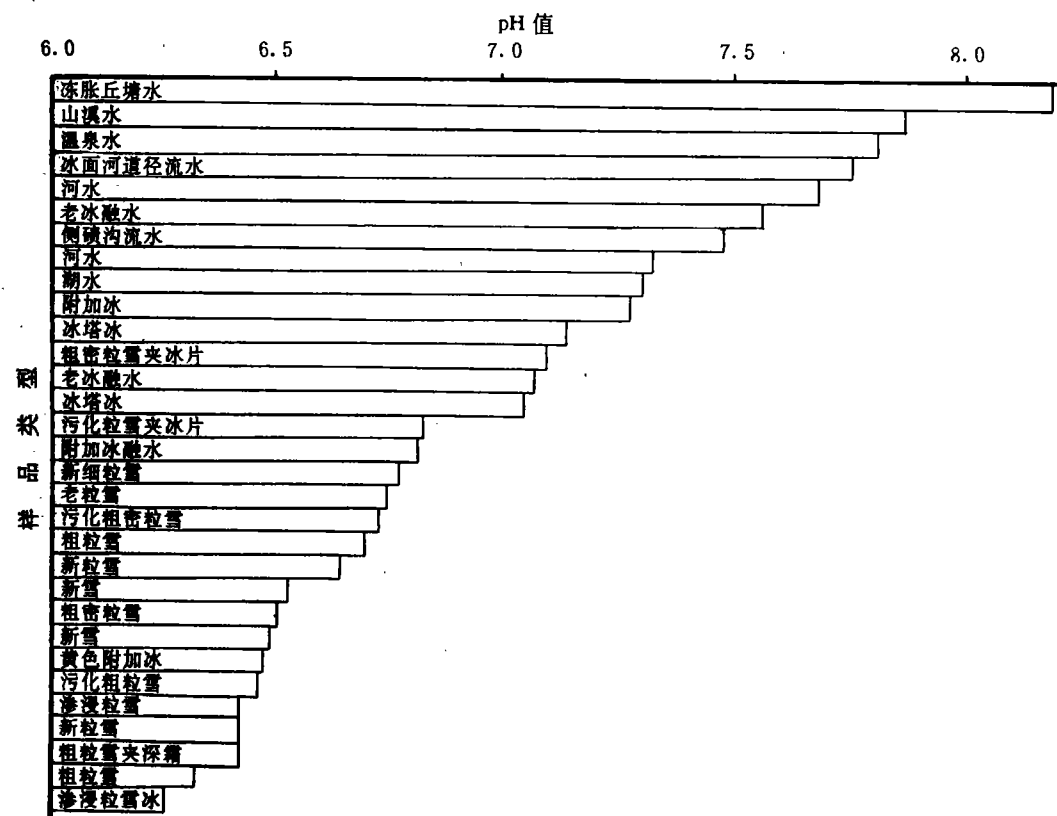


图 2 各拉丹冬峰东冰川冰、雪、水的 pH 值

Fig. 2 pH value distribution of glacial ice, snow and water in the East of Mt. Geladandong

3 矿化度、总硬度与总碱度

3.1 矿化度

矿化度指样品中各种阴阳离子含量的总和(其中的 HCO_3^- 离子含量取半值). 由表 1 可知,冰川附近的6*山溪水(源头有悬冰川融水加入)的矿化度很高,达387.13mg/L(量纲下同);11*冻胀丘塘水次之(143.24);然后是5*老冰融水(41.32)、4*侧碛沟中水(40.75)、3*老粒雪(34.43)、10*,12*河水(31.56和27.63)、9*,8*冰塔冰(12.43和7.74)、7*老冰融水(6.56)和17*附加冰融水(6.41). 由此表明,矿化度与各类样品所处的地质地理环境及空间位置的时效性有关. 15*样品(9.04)和28*样品(14.28)表现出老冰融化与新雪混合后的再冻结综合作用. 所有样品中矿化度最低的是新雪和粒雪,且普遍 <1.00 . 这表明:青藏高原腹地降水过程中矿化程度之微弱,降水进入地下后才得以强烈

的矿化作用。在冰川作用过程中,则与冰雪变质程度、冰体形成历史具一定相关性。在没有冰川所围的青藏公路103道班以南之加1[#]温泉水的矿化度高达1 713.17mg/L。由此可见,其矿化过程的长时效及高强度。

3.2 总硬度

目前来看,总硬度最大的是加1[#]温泉水,达16.880cmol(+)/L(量纲下同),其次为11[#]冻胀丘塘水,达2.300,余者多<0.100,而更低者<0.010。由此可见,区内冰川系统水属软水或极软水。

3.3 总碱度

当地总碱度最大值者是11[#]冻胀丘塘水,达2.78cmol(+)/L(量纲下同),其次为加1[#]温泉水(1.50)。值得注意的是,除河水、部分冰融水等样品有总碱度表现外,计有20个样品(占总样品数的2/3)均无总碱度表示,它们绝大多数是新近沉降的新雪和粒雪。沉积年代较久远的冰塔冰(冰川末端附近的孤立冰塔,即8[#],9[#]样品)也无总碱度表示。

4 水化学类型

为了列出各类样品的水化学组合类型,须先计算出每种离子含量相对于离子总量的百分比。习惯上是取 $\geq 10\%$ 的阳阴离子含量,由高到低按顺序排列。这种排列称之为水化学类型。结果是:除29[#]冰川终碛湖水呈现为 $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ 型外,其余样品都呈现以 Ca^{2+} 离子含量为主的水化学类型组合(见表1)。

5 结 语

1. 除加1[#]样品某些指标偏高外,各拉丹冬峰东坡冰川系统各类水体样品均属优质、中性、软淡水。

2. 矿化度的大小与样品沉积时间的长短密切相关,而与冰川大陆性或海洋性的形态类型似无明显关系。尤其新近沉降的新雪、粒雪的矿化度既低于藏东南、横断山等海洋性冰川区的矿化度^[2,4],也低于西昆仑山等大陆性冰川区的矿化度^[3]。

3. 新近沉降的冰雪物质pH值普遍低于老冰川物质pH值。这显示出有某些弱酸污染倾向,但仍高于海洋性冰川区冰川物质pH值^[2]。尽管如此,仍反应出近代人类工业化环境污染已波及到世界最宏伟高原的腹部纵深地区。这值得警惕。

4. 主要离子含量或水化学类型均表现出阳离子以 Ca^{2+} 为主,阴离子以 HCO_3^- 为主,而新近降雪样品则呈单一的 Ca^{2+} 离子水化学类型。此种现象在我国其他冰川区鲜有发现,其地球化学机制有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 张林源. 长江上游沱沱河源头地区的冰川及其演变. 冰川冻土, 1981, 3(1): 1—9.
- [2] 张文敬, 王平. 南迦巴瓦峰地区冰川冰、雪、水的地球化学特征. 山地研究, 1984, 2(3): 155—164.
- [3] Zhang Wenjing, An Ruizhen, Yang Huian *et al.* Conditions of glacier development and some glacier features in the West Kunlun Mountains. In: Keiji H, Xie Zichu eds. Glaciological Studies in West Kunlun Mountains, 1987. Water Research Institute, Nagoya University, Japan, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica, China, Published

in March, 1989. 55—65.

- [4] 郑远昌, 钟祥浩. 贡嘎山地区水化学概况. 见: 中国科学院成都地理研究所. 贡嘎山地理考察. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 55—62.

GEOCHEMICAL FEATURES IN GLACIAL ICE, SNOW AND WATER IN THE EAST OF MT. GELADANDONG, HEADWATER OF THE CHANGJIANG RIVER

Zhang Wenjing

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041*)

Abstract

A joint glacial expedition and observation between China and German in Geladandong region (alt. 6 621m) at the headwater of the Changjiang River were carried out in summer of 1989.

Some geochemical features about glacial ice, snow and water in this area were presented. The data, which sampled from the Kangkyagquba Glacier and Shuijingkuang Glacier during the expedition in 1989, showed as follows: all kinds of the glacier ice, snow and water belong to neutral, soft and fresh, as well as high quality water. The mineralization values have relations with sample depositing time. Their deposit time are more new, the mineralization values are smaller. The mineralizations of snow are lower than 1.00mg/L which also are lower than that of West Kunlun Mountains and Southeast Xizang, as well as Hengduan Mountains former belonging to continental glacial region later being monsoon maritime type.

As for the concentration or hydrochemical type among cations Ca^{2+} is dominant and among anions HCO_3^- is dominant for all samples. The single Ca^{2+} —hydrochemical type is dominated in all of the new snow or firn deposited in recent years. It is very interesting that pH in all of the snow and firn deposited in recent years are lower than 7.00 with some lower than 6.50 and lowest reached down to 6.24 appearing as weakly acidity pollution tendency. To say that the pollution from modern industrialization has affected into the center of Qinghai-Xizang Plateau.

Key words Mt. Geladandong, glacier, geochemistry