

珠穆朗玛峰绒布河源区河水化学特征

刘腊山, 任贾文, 秦大河(中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯与寒区环境开放研究实验室, 兰州 730000, E-mail: liulashan@163.net)

摘要: 为了研究绒布河源区夏季河水的基本化学特征, 野外采集水样 117 份, 采用 PE-2380 型原子吸收光谱仪测定样品的阳离子, Dionex-100 型离子色谱仪测定阴离子。结果表明: ① 绒布河源区河水为 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} -Ca 型。其离子浓度顺序为: $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 。② 河水中离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 之间, 以及 K^+ 和 Na^+ 之间有很好的正相关关系, 河水化学组成大部分来源于当地岩石的风化分解。③ 整个夏季河水各月离子平均浓度和流量有良好的正相关关系, 流量大的月份, 各离子平均浓度也大, 反之亦然。

关键词: 珠穆朗玛峰; 绒布河; 水化学; 流量

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)05-0059-05

Chemical Characteristics at the Head of Rongbuk River on Mt. Everest

Liu Lashan, Ren Jiawen, Qin Dahe(Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China E-mail: liulashan@163.net)

Abstract: In order to study the water chemical characteristics at the head of Rongbuk River, the samples were collected from June to October in 1998. The cation concentration were analyzed by PE-2380 atomic absorption spectrophotometer and the anion concentrations by Dionex-100 ion chromatograph. The results indicated: ① The anion and cation in stream water were dominated by HCO_3^- 、 SO_4^{2-} and Ca^{2+} , respectively. According to the ionic concentrations, the order of major ions was: $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$. ② The high positive correlation existed among Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} , so did K^+ 、 Na^+ . The major ions in stream water came from mineralization of bedrock or local glacial deposits. ③ During the whole summer, the major ionic mean concentrations correlated positively with the mean discharge of the river water in each month.

Keywords: Mt. Everest; Rongbuk River; water chemical characteristics; discharge

有关珠穆朗玛峰绒布冰川区河水的化学特征研究, 前人已取得了较为丰富的资料^[1~4]。但由于前期的研究工作在采样时间上均在夏季来临之前的 3 月至 6 月初, 且采集的样品数很少, 其结果要真实地反映该地区河水的化学组成及变化情况还有限。鉴于此, 笔者在 1998-06~10 珠峰冰川学考察期间, 在绒布河河源区的登山大本营连续、系统地采集了夏季河水样品。本文试图根据所得数据并结合前人所作的工作探讨珠峰绒布河源区水体的化学特征, 为正确、合理地评价该地区水资源和气候环境变化研究提供依据。

1 样品的采集与分析

绒布河发源于珠穆朗玛峰(以下简称珠峰)

北坡, 向北注入朋曲河。是一条典型的以冰川融水补给为主体的河流。在其源头, 融水流经绒布冰川的现代终碛, 从海拔 5150m 的绒布冰川冰碛末端流出。1998-06-02~10-01 在海拔 5150m 的中绒布冰川现代终碛末端(图 1), 每日定时在 8:00, 14:00, 20:00 分别取样 3 次, 共采集绒布河水样品 117 个。

全部样品运抵中国科学院兰州冰川冻土所后立即放入-15℃的低温室内保存, 分析前 1 天将样品取出, 室温下自然融化后进行测定。利用 PE-2380 型原子吸收光谱仪测定样品中的

基金项目: 中国科学院资源与生态环境研究“九五”重大项目(A)(KZ-951-A1-402-03), 国家攀登项目(95-预-40)和国家自然科学基金资助项目(49871022)

作者简介: 刘腊山(1973~), 男, 湖北云梦县人, 硕士生, 主要从事雪冰水化学和环境化学的研究。

收稿日期: 1999-11-10

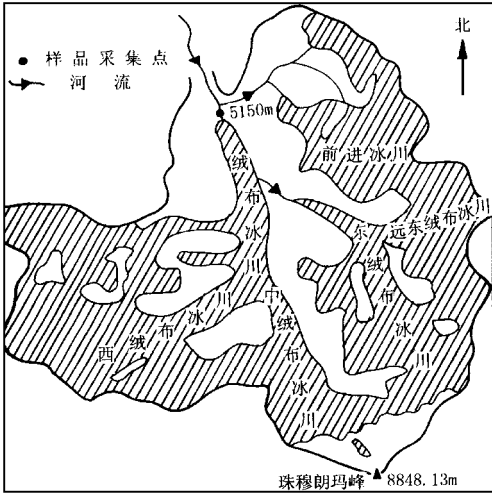


图1 河水样品的采集点示意图

K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , 其测量精度在 $10\mu g/L$ 以内^[5], 利用 Dionex-100 型离子色谱仪测定样品的阴离子含量, 其精度可达到 $\mu g/L$ 量级, 相对标准偏差为 3%^[6].

2 河水水化学组成和类型

绒布河源区河水的水化学组成见表1. 鉴

于数据太多, 表1 中只列出了样品浓度的极值、总体平均值以及各月的平均值, 并列出了总体和各月样本方差值. 从表1 可以看到, 阳离子中 Ca^{2+} 是含量最高的离子, 其平均值为 8.06mg/L , 且变化不大, 总体样本方差为 0.13. K^+ 、 Na^+ 次之, 其中 K^+ 平均含量为 2.47mg/L , Na^+ 为 1.01mg/L . Mg^{2+} 的含量最低, 平均为 0.90mg/L . 检测的阴离子中, SO_4^{2-} 含量最高, 平均为 9.15mg/L , 且在所测定的离子中变化最大, 总体样本方差为 15.47. Cl^- 的含量基本稳定在一个较低的水平上, 平均为 0.27mg/L . NO_3^- 含量较低, 且变化也很明显, 有很多样品其含量低于仪器检测下限, 在已检测出的样品中其平均含量为 0.205mg/L . 河水的各种离子含量都很低, 其测定的离子总浓度一般在 40mg/L 以下, 变化也较小, 变化范围为 11.09mg/L 至 37.26mg/L , 水体很稳定. 河水中各离子含量顺序分别为: $Ca^{2+} > K^+ > Na^+ > Mg^{2+}$, $SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$.

表2 是历年来珠峰大本营河水水化学组成. 通过水化学组成的对比, 可以看到从 50 年

表1 1998-06~ 10 河水水化学组成及方差/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

离子	06		07		08		09		总体		最小值	最大值
	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差	均值	方差		
Na^+	0.84	0.03	1.03	0.04	1.03	0.03	1.14	0.05	1.01	0.05	0.45	1.69
K^+	2.26	0.15	2.63	0.13	2.56	0.09	2.41	0.08	2.47	0.13	1.30	3.38
Ca^{2+}	6.21	0.07	8.20	0.08	9.16	0.10	8.65	0.08	8.06	0.13	4.47	15.02
Mg^{2+}	0.58	1.11	0.86	2.43	1.16	2.36	1.02	0.85	0.90	2.88	0.38	2.47
F^-	0.27	0.01	0.38	0.01	0.35	0	0.33	0	0.33	0.01	0.15	0.65
Cl^-	0.27	0.05	0.27	0.02	0.27	0.02	0.29	0.02	0.27	0.03	0.08	0.80
NO_3^-	0.45	0	0.12	0	0		0.17	0.01	0.20	0.01	0.09	0.47
SO_4^{2-}	4.75	2.31	7.94	7.99	12.28	8.72	11.60	6.53	9.15	15.47	2.28	23.26

代末到 90 年代末的大约 40 年间, 珠峰河水水化学成分含量均有比较明显的降低, 如在阳离子中占比重较大的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 其含量从 17.74mg/L 和 6.38mg/L 分别降低为 8.06mg/L 和 0.90mg/L . 其可能原因是, 这 40 年间珠峰地区也受全球变暖的大趋势影响, 气温有明显的上升, 如 1959~ 1960 年的珠峰考察

期间, 珠峰夏季降水以固态降水为主, 而 1998-06~ 10 的考察期间, 大多数降水为雨, 在有记录的 59 次降水中, 降水为雪、雨夹雪、霰或冰粒等固态的只有 12 次, 仅只占总降水的 20%. 40 年间气温上升使冰川退缩, 雪线上升, 冰川的消融量的平均水平有明显的增大. 在夏季离子浓度含量低的冰川融水因流量相对比 40 年前的

同季节大而使得冰川融水的稀释作用相对比 含量上表现为距现在时间越长离子含量越大。
40 年前强得多,从而在一定程度上使河水离子 绒布河河源区同其它地区河水的离子浓度

表 2 珠峰历年考察大本营河水水化学组成/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

采样日期/年-月-日	样品数	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃	SO ₄ ²⁻	HCO ₃
1959-06-01	1			17.74	6.38		0.30		1.46	81.68
1975-03~ 05	3	2.38	2.06	18.65	3.58		0.29	0.50	16.05	
1997-05	2	2.78	2.93	13.48	2.55	0.42	2.67	0.223	18.78	
1998-06~ 10	117	1.01	2.47	8.06	0.90	0.33	0.27	0.20	9.15	

比较见表 3。由于绒布河发源于高寒而干旱的 珠穆朗玛峰,水源补给为冰川融水,水体的含盐 量相对较低。绒布河河水与北京怀柔水库的水 相比离子含量要低得多,与同处于喜马拉雅山的 南迦巴瓦峰河水、希夏邦玛峰朋曲河上游河 水相比,其离子含量也要低,整体上比世界河水

的离子平均含量还低。这说明绒布河源区河水 特别洁净,它的水化学状况可以说明该地区河 水受人类的污染影响较小,其水环境可代表喜 马拉雅山河水的特征。

由于测量 HCO_3^- 所需样品数量大,而采集 的样品量少,所以没有测定样品中该项离子

表 3 绒布河河源区和其它地区离子浓度比较/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

地区	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	资料来源
绒布河河源	9.844	-	0.282	1.066	2.542	8.109	0.964	本文
南迦巴瓦峰溪水	15.3	0.26	0.91	4.41	4.58	14.0	1.06	[7]
南迦巴瓦峰河水	24.7	0.23	1.07	4.15	5.30	22.0	2.41	同上
希夏邦玛峰东南坡朋曲河	23.28	-	4.87	14.99(Na ⁺ + K ⁺)		53.59	8.43	[8]
北京怀柔水库	8.00	0.20	3.10	48.5	8.50	26.4	10.9	[7]
世界河水平均	11.2	1.0	7.8	6.3	2.3	15.0	4.1	同上

的浓度。根据章申等^[9]在该地区所做的工作, HCO_3^- 是含量最高的离子,且 HCO_3^- 占总矿化 度的 39.92%~ 66.92%。地表水化学特性也表 明,当河水中阳离子存在如下关系时: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$, HCO_3^- 应占河水中离子的很大比 重^[10],绒布河河水中, $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ 的关系 明显存在。同时众多的资料表明,青藏高原及其 周围地区的河水一般为 HCO_3^- 、 SO_4 -Ca 型,只 有个别为 HCO_3^- -Ca 型。河水的水化学类型在很 大程度上由当地基岩等因素决定,绒布河源区 广泛分布着石灰岩和黑云母片麻岩,在测得的 河水样品中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 在阴阳离子中比重最 大。根据以上情况,河水的化学类型应为 HCO_3^- 、 SO_4 -Ca 型。

3 水化学组成的相互关系及来源初步分析

表 4 是河水主要离子的相关系数, N 为样

品数,在本相关分析中, $r = 0.254$ 的相关可信 度为 99%。从各离子的相关系数可以看到, Na^+ 与 K^+ 、 SO_4^{2-} 的正相关很好,其相关系数分 别为 0.59, 0.44; K^+ 除了与 Na^+ 相关外,与其 他离子没有明显的相关; Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 的 相关程度很高,相关系数分别为 0.59, 0.86; Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 的相关系数为 0.64; 而 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 3 种离子和总硬度很好的正相关关 系进一步说明了 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 之间相互影 响。 Cl^- 与其他离子几乎无关。这样根据它们的 相关系数可以将它们分为 2 类:基本不受其他 离子影响的 Cl^- ; 明显受其它离子影响的 2 个 离子组: K^+ 和 Na^+ , Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 。

由此可以初步判断,河水中 K^+ 和 Na^+ 可能有 相同的源, Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 有可能来源相 同。大气化学的研究认为降水中 K^+ 、 Na^+ 、

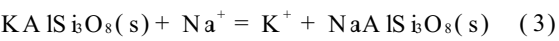
表 4 河水中主要离子的相关系数(N = 117)

	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	总硬度
Na ⁺	0.59	0.18	0.25	0.03	0.44	0.17
K ⁺		0.04	0.14	0.07	0.12	0.04
Mg ²⁺			0.59	0.02	0.86	0.74
Ca ²⁺				0.11	0.64	0.98
Cl ⁻					0.03	0.12
SO ₄ ²⁻						0.74

Mg²⁺、Ca²⁺ 和 Cl⁻ 来源于原生物质, 即来源于地表, SO₄²⁻ 除原生外, 还有一部分来源于大气次生气溶胶. 绒布河源区位于珠穆朗玛峰北坡, 从次生气溶胶产生的 SO₄²⁻ 对河水中 SO₄²⁻ 的含量影响与当地地表岩石对其的影响相比可以忽略. 王鼎新等^[3]和 Jenkins 等^[11]对珠峰地区降水化学成分的来源分析认为, Mg²⁺ 和 Ca²⁺、SO₄²⁻ 来源于当地岩石的风化分解. 绒布河源区基岩以石灰岩为主, 广泛分布着石灰岩、大理花岗岩和黑云母片麻岩. 因此, 可认为河水中 Mg²⁺ 和 Ca²⁺、SO₄²⁻ 来源于当地岩石和冰碛物.

K⁺、Na⁺ 和 Cl⁻ 是易溶离子, 降水成分中一般认为海洋是 Na⁺ 和 Cl⁻ 的主要来源, Jenkins 等^[11]对珠峰降水成分的分析认为, Na⁺/Cl⁻ 的值接近于海水的比值, Na⁺、Cl⁻ 有部分来源于海洋. 但绒布冰川区的降水对河流的补给与冰川融水补给相比要小得多, 因此 Na⁺ 来源除海洋少部分来源外, 其主要还是来源于当地岩石的风化. Na⁺ 与 SO₄²⁻ 较好的相关性也说明, 河流中 Na⁺ 的主要来源是当地的岩石和冰碛物. 对 K⁺ 来说, 钾钠虽然同属碱金属元素, 但天然水中 K⁺ 含量超过 Na⁺ 含量的情况是不常见的. 元素地球化学的研究表明非生物来源的 K⁺ 一般来自于黑云母、钾长石等硅酸盐矿物的风化分解. 在合适的条件下, 岩石风化过程中 Na⁺ 可以从岩石中交换出 K⁺, 从而使 K⁺ 从不易释放的岩石中进入河水中. 其典型反应为:

$$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{CO}_3^* + 12\text{H}_2\text{O} = 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 6\text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{s}) \quad (1)$$
$$\text{KMg}_3\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{s}) + 7\text{H}_2\text{CO}_3^* + 1/2\text{H}_2\text{O} = \text{K}^+ + 3\text{Mg}^{2+} + 7\text{HCO}_3^- + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + 1/2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4(\text{s}) \quad (2)$$



其中式(1)、(2)是钾长石、黑云母在水和 CO₂ 的参与下发生的, 式(3)是钾长石在 Na⁺ 的交换作用下分解出 K⁺ 的风化过程. 绒布河源区是冰川作用地带, 生物活动很弱, 其对河水中 K⁺ 的贡献可以忽略. 河源区广泛分布有黑云母片麻岩、角闪片麻岩、石英片岩、大理岩等硅酸盐矿物, 其中的片麻岩和石英片岩含有大量的钾矿石. 较大的日温差和季节降水为当地岩石的风化释放出 K⁺ 提供了合适的气候条件. 因此河水中 K⁺ 含量很高. 至于 K⁺ 只与 Na⁺ 有明显的正相关, 而与其它离子的相关性不明显, 且其含量几乎是 Na⁺ 含量的 2.5 倍左右的原因有可能是式(3)的反应比式(1)和(2)的分解反应要强.

4 离子浓度与流量的关系

从表 1 中还能看到, 各离子浓度在各月的平均变化, 总体上有一个先上升然后下降的过程, 平均较高值基本上出现在 7 月或 8 月, 且下降后的 9 月各离子浓度值比浓度增大前的 6 月要高(图 2). 7 月和 8 月是珠峰绒布冰川区平均气温最大的 2 个月, 这时冰川消融最强, 河水水位和流量也最大^[1], 1998 年夏季 7 月和 8 月的河水流量也最大(图 3), 6、7、8 和 9 月的月平均流量分别为 2.315m³·s⁻¹、5.063m³·s⁻¹、4.740m³·s⁻¹和 3.129m³·s⁻¹. 图 2 和图 3 可看出各月离子平均浓度与河水平均流量有明显的正相关关系(图 3). 河水离子浓度和流量存在这种关系的原因可能是, 珠峰绒布冰川区处于海拔极高地带, 处于冰川作用地带的岩石在强烈的气温日变化下风化程度很高, 松散的冰碛物广泛分布, 降水作用对这些裸露岩石和冰碛物的淋溶作用大小在很大程度上决定于降水强度, 7 月和 8 月是珠峰降水强度最大的月份, 降水对冰碛物和风化的岩石淋溶达到最强也最充分, 虽然这一时期离子含量低的冰雪融水量也随冰川的消融加强而达到最大, 但其对河水的主要离子含量的降低和稀释作用与因淋溶作用使大量的可溶离子进入河水而使河水化学组成浓度升高作用相比, 因后一过程在上述期间占

主导地位使得河水离子浓度与降水量及降水频率呈现明显的正相关, 从而在表现上为绒布河源河水离子浓度与河水水位、流量存在一定的正相关。

5 结论

(1) 绒布河源区河水为 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} -Ca 型。其离子浓度顺序为 $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 。

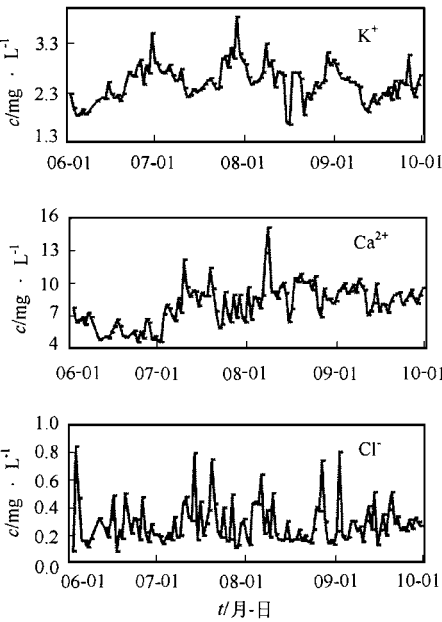


图 2 1998 年夏季河水离子浓度的变化

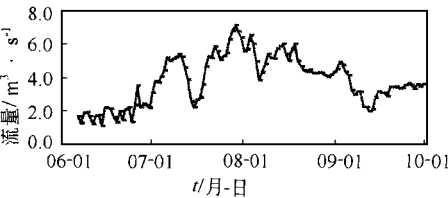


图 3 1998 年夏季河水流量的变化

(2) 河水中离子的相关分析表明, Na^+ 与 K^+ 有正相关, 且与 SO_4^{2-} 也有一定的正相关; K^+ 除与 Na^+ 有明显的正相关关系外, 与其它离子几乎无关, 其可能原因是 Na^+ 交换 K^+ 的风化过程较为活跃; Cl^- 与其它离子均无关; Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 及 SO_4^{2-} 3 者之间有很好的正相关关

系。

(3) 对河水中离子来源的初步分析得出, 河水中化学成分主要来源于当地岩石的风化分解。

(4) 夏季河水离子的月平均浓度与流量月平均值有明显的正相关关系。河水中离子的月平均较大浓度与 7 月和 8 月的平均较大流量的相对应。

致谢 样品的阳离子由皇翠兰副研究员测定。在样品的收集与分析测定过程中, 得到王强、张东启、秦翔、李凤霞、康世昌、孙俊英等的帮助, 并得到盛文坤、侯书贵博士等的有益指导, 在此一并致谢!

参考文献:

- 1 中国珠穆朗玛峰登山队科学考察队水文组. 珠穆朗玛峰地区水文. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告. 北京: 科学出版社, 1962. 152~ 180.
- 2 谢自楚. 绒布冰川的消融特征. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(现代冰川与地貌). 北京: 科学出版社, 1975. 65~ 70.
- 3 王鼎新, 李洪珍等. 珠穆朗玛峰地区大气环境本底初步探讨. 珠穆朗玛峰科学考察报告(大气与环境). 北京: 科学出版社, 1980. 171~ 188.
- 4 秦翔, 秦大河等. 珠穆朗玛峰北坡绒布冰川区水体的化学特征. 环境科学, 1999, 20(1): 1~ 6.
- 5 皇翠兰, 李忠勤. 原子吸收光谱仪对雪冰中基本阳离子的测定. 冰川冻土, 1994, 16(4): 346~ 350.
- 6 皇翠兰, 李忠勤等. Dx-100 型离子色谱仪用于冰雪样品中阴离子的测定. 环境化学, 1998, 17(2): 195~ 199.
- 7 黄衍初, 单孝全等. 南迦巴瓦峰地区水的环境背景值研究. 环境科学, 1986, 7(6): 57~ 64.
- 8 章申, 吴子汪. 希夏邦马峰地区自然水(冰雪融水)的水化学特征. 希夏邦马峰地区科学考察报告. 北京: 科学出版社, 1982. 92~ 97.
- 9 章申, 于维新. 珠穆朗玛峰地区水化学特征. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~ 1968)(自然地理). 北京: 科学出版社, 1975. 102~ 123.
- 10 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理(地表水). 北京: 科学出版社, 1981. 128~ 136; 80~ 89.
- 11 Jenkins M D, Drever J I et al. Chemical Composition of Fresh Snow on Mount Everest. J. Geophys. Res., 1987, 92(D9): 10999~ 11002.