

文章编号: 1009-3850(2007)02-0014-06

岷江流域河水主要离子地球化学特征及人类活动影响研究

秦建华^{1,2}, 冉敬¹, 杜谷²

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 岷江水流量约为 $8.9 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{yr}$, 约占长江全流域水量 10%。作者对 4 个监测站监测数据的分析发现, 岷江 TZ^+ 高于世界河流平均值, 具有富 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 特征; 流域化学剥蚀通量为 $20.48 \times 10^6 \text{ t/yr}$, 约占长江流域的 10%; 化学剥蚀速率为 $155.9 \text{ t/km}^2 \cdot \text{yr}$ 。岷江在流经四川盆地时主要离子 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 Ca^{2+} 均已受到了人类活动较为严重的影响, 酸雨是 SO_4^{2-} 的主要污染来源, Cl^- 的污染来源包括生活和工业废水、化肥和井盐开采, 农业生产使用的富 Ca 化肥应是河流 Ca 污染源之一。

关键词: 岷江, 地球化学, 人类影响; 四川
中图分类号: P592 文献标识码: A

1 引言

国内外学者以前对其河水主要离子地球化学进行研究的样品主要来自于受人类活动影响较多的河段和河口湾附近^[1,2]。虽然夏星辉等(2000)和陈静生等(2002)利用 1958—1985 年 120 余个站点和 1958—1990 年 191 个站点的水质监测资料, 分别对长江干流和主要支流的主要离子地球化学进行了数理统计和分析^[3,4], 但他们的研究仍然很少涉及到对长江上游主要离子地球化学背景和空间变化特征的分析。

岷江是长江上游的一条重要支流, 它在流经青藏高原东部后进入四川盆地并于宜宾市汇入长江干流(图 1)。青藏高原目前是世界上中纬度地区仅存的几乎仍然未受到人类活动影响的地区, 流经的河流还基本保持了原始水化学状态; 而与其相邻的四川盆地则是人口稠密、工农业发达。为了解岷江河水从原始水化学状态到受人类活动影响后的时空变化特征, 笔者在 2001 年对岷江主要离子地球化学进行了为期一年的监测取样, 并对其监测数据结果进

行了分析研究。

2 流域自然背景

岷江起源于青藏高原东部的九顶山, 长 793km, 流域面积为 131288.59 km^2 。有两条主要支流, 即大渡河和青衣江(图 1), 河流径流主要为雨水补给型。高原东部地形为原始高原、冰川作用的高山——极高山和流水侵蚀的低山—高山。从高原东部到四川盆地地形发生了明显变化: 四川盆地平均海拔为 500m, 主要为丘陵和平原; 在高原东部, 岷江河流切割峡谷深达 1~3km, 向南、向东南跨过造山带后流入盆地^[7]。流域气候类型为高原气候(包括高原亚寒带潮湿气候和高原亚热带潮湿气候)和亚热带潮湿气候。流域地质包括 3 个地质构造单元(图 1), 即巴颜喀拉前陆盆地褶皱带、龙门山后造山前陆盆地和四川沉积盆地。巴颜喀拉前陆盆地褶皱带主要是陆屑复理石和少量的碳酸盐岩(偶夹石膏蒸发岩)和少量的中酸性、基性火成岩、片麻岩, 在碳质板岩和千枚岩中含少量的黄铁矿; 龙门山后造山前陆盆地主要由古生代和前寒武构造异置体和晚三叠世海

收稿日期: 2006-11-27

第一作者简介: 秦建华, 1964 年生, 研究员, 主要从事沉积学和河流地球化学研究。

资助项目: 国土资源部国际合作与科技司“青藏高原东部河流水化学沉积地质学研究”。

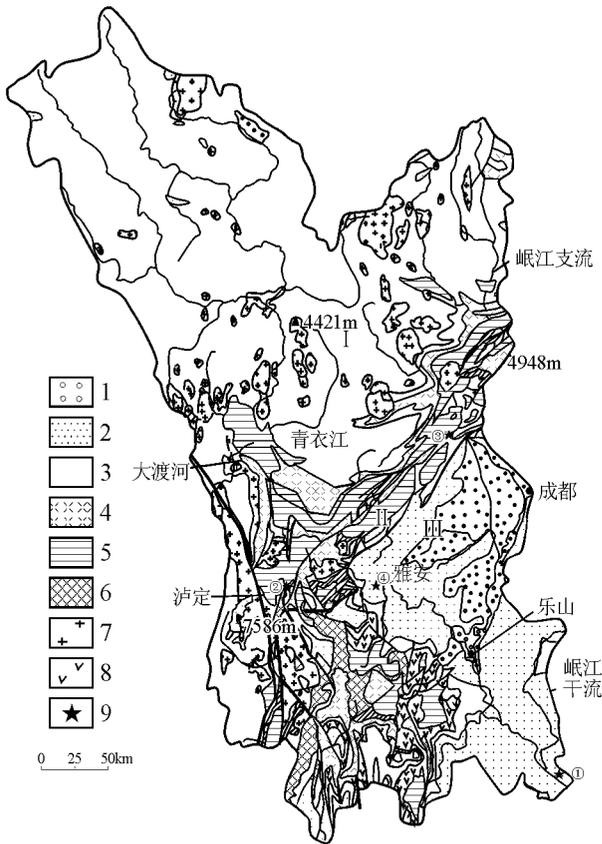


图1 岷江流域地质构造示意图^[5,6]

I. 巴颜喀拉前陆盆地褶皱带; II. 龙门山后造山前陆盆地; III. 四川沉积盆地(扬子准地台)。1. 第四系; 2. 侏罗—古近系; 3. 三叠系; 4. 上古生界; 5. 下古生界; 6. 前寒武纪; 7. 侵入岩; 8. 火山岩; 9. 监测点

Fig. 1 Sketch map of geological structures along the Minjiang River (after Pan Guitang et al., 2002)

I = Bayan Har foreland fold zone; II = Longmenshan post-orogenic foreland basin; III = Sichuan Basin (Yangtze paraplatform). 1 = Quaternary; 2 = Jurassic—Paleogene; 3 = Triassic; 4 = Upper Palaeozoic; 5 = Lower Palaeozoic; 6 = Precambrian; 7 = intrusive rock; 8 = volcanic rock; 9 = Monitoring station

陆过渡相和陆相地层组成, 岩性为碳质板岩和千枚岩、碳酸盐岩、砂泥岩及少量的煤; 四川沉积盆地又称扬子准地台, 主要是陆相红色砂岩和泥岩、碳酸盐岩和蒸发岩(石膏和石盐)和少量的峨眉玄武岩、变质砂岩和火成岩。

3 监测站的建立和取样

建立水化学监测站是选择在已建有水文站的基础上进行的。在上游青藏高原东部边缘和四川盆地西缘设立了3个水化学背景站, 即漩口站(监测岷江上游)、泸定站(监测大渡河)、多营坪站(监测青衣

江); 在四川盆地岷江下游与长江干流汇合处建立了1个目标监测站, 即宜宾高场站(图1)。

除多营坪站分别在3、6、8、9、12月进行了5次取样外, 其余3个站均是从2001年1月至12月, 每月中旬分别进行取样。取样时现场测定河水pH、水温和导电率, 取样24小时内利用0.45 μ m滤膜进行过滤, 部分样品采用盐酸酸化后用于测定Si。主要阳离子(Na、K、Mg、Ca)采用火焰原子吸收分光光度法测定; 碱度采用滴定法测定; Cl⁻采用硝酸银容量法测定; SO₄²⁻离子采用硫酸钡比浊法测定; Si元素采用硅钼蓝分光光度法测定。主要阳离子由成都地质矿产研究所分析测试中心测试, 其它元素由四川地矿局测试中心测试。

4 数据分析

4.1 总体特征

NICB代表了河水中标准化的非有机质电离平衡, 在0.05~0.05之间, 表示河水中主要元素离子间电离是平衡的, 反之则说明河水中尚存在着未测定的离子(如有机酸阴离子)^[8]。计算表明, 监测站多数样品NICB>0.05(图2)。

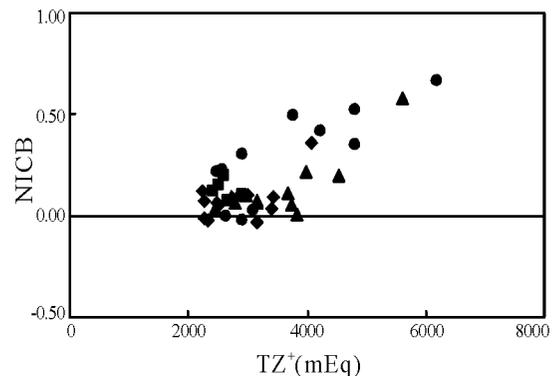


图2 监测站水化学NICB分布

● 漩口; ▲ 高场; ■ 雅安; ◆ 泸定

Fig. 2 NICB distribution for the samples from individual monitoring stations

● Xuankou; ▲ Gaochang; ■ Ya'an; ◆ Luding

岷江河水中主要阳离子TZ⁺最高可达2000⁴Eq, 高于世界河流的平均值1250⁴Eq^[8]。

在阴、阳离子三角形分布图上(图3), 阴离子集中在HCO₃⁻一角, 沿着(Cl⁻+SO₄²⁻)一边成串排列, 表现出低(Cl⁻+SO₄²⁻), 高Alk的特征; 阳离子投点较为集中的落在了Ca=Mg+Na+K一线的左侧, 靠近Ca端点附近, 表现出Ca²⁺相对较高的特征。

4.2 化学剥蚀通量与机械剥蚀通量

Huh 等(1998)认为,若在缺乏连续时间序列样品和流量数据情况下,可利用一次取样和年度流量来计算流域盆地化学剥蚀通量,用该方法计算可获得较好的化学剥蚀通量估计值(误差可在 $\pm 20\%$)^[8]。但利用溶质载荷监测数据和流量数据对泸定站、漩口站和高场站进行化学剥蚀通量的计算表明,在利用一次取样和年度流量来计算流域盆地化学剥蚀通量时,若使用5、6月和8~12月的数据进行计算,其相对误差才可控制在 $\pm 20\%$ 。

图4表明,高的化学剥蚀通量并不对应于高的机械剥蚀通量,也就是说机械剥蚀通量与化学剥蚀通量之间并没有明显的关系。这与其他研究者的结论是一致的^[9]。化学剥蚀通量有随着流量增大而增加的趋势,而机械剥蚀通量与流量的相关性不明显。

4.3 河水主要离子浓度与河流流量的关系

图5表明, K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 都表现出随着流量增加,离子浓度存在着降低的趋势。岷江河水,除 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 外,其它离子浓度与流量的关系与Roy等(1999)对法国塞纳河研究的结论^[10]一致。值得注意的是岷江河水 Ca^{2+} 与流量之间未表现出明显的相关性。

4.4 主要元素时空变化特征:人类活动的影响

人类所从事的工业和农业活动可对河水主要离子水化学成分产生了影响。为研究人类活动对岷江的影响,笔者选择了岷江下游高场站作为目标监测站,通过对主要离子浓度时空变化特征分析来揭示岷江河流在流经四川盆地时人类活动对河水主要离

子所产生的影响。

1. 主要离子浓度空间变化特征

首先对上游3个水化学背景监测站,按照下列公式对其输入到四川盆地的水化学背景值进行了计算。

$$C_i b = \sum_{j=1}^3 C_{ij} \times Q_j / \sum_{j=1}^3 Q_j$$

公式中: C_i 为*i*种离子浓度; Q 为月流量; $C_i b$ 为*i*种离子输入到下游的背景浓度; $j=1\sim 3$,代表泸定站、漩口站和多营坪站;

然后将计算结果与目标监测站高场站的离子浓度进行比较。结果表明,高场站中的 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 含量分别高出背景值51%、149%和557%; Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 的浓度分别高出背景值16%和58%。

这种现象可能是由两种因素引起的:一是自然因素如地表岩石风化,一是由人为因素。因此,要揭示人类活动对岷江主要离子水化学环境的影响,还需要对目标监测站该主要离子浓度在时间序列上的变化特点作进一步的分析。

2. 主要离子浓度在时间序列上的变化特征

为进一步分析高场站上述主要离子(K 、 Na 、 Cl 、 Ca 和 SO_4)浓度在时间序列上的变化特征,笔者对水利部1976—1995年高场监测站的监测数据进行了收集整理。从图6可以看出,河水中 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的浓度呈逐年缓慢增加的趋势,其中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 尤为明显。与1976年5月同期数据相比,2001年 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 的浓度分别增加了28%、99%、196%。

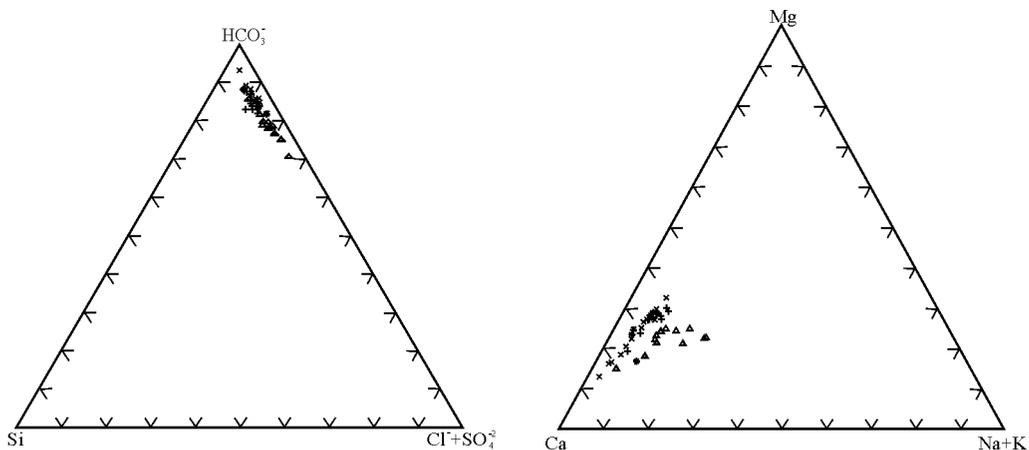


图3 阴阳离子三角形分布图

+ 大渡河泸定站; × 岷江漩口站; □ 青衣江多营坪站; △ 岷江高场站

Fig. 3 Triangular diagrams of anion and cation distribution

+ = Luding station in the Dadu River; × = Xuankou station in the Minjiang River; □ = Duoyingping station in the Qingyi River; △ = Gaochang station in the Minjiang River

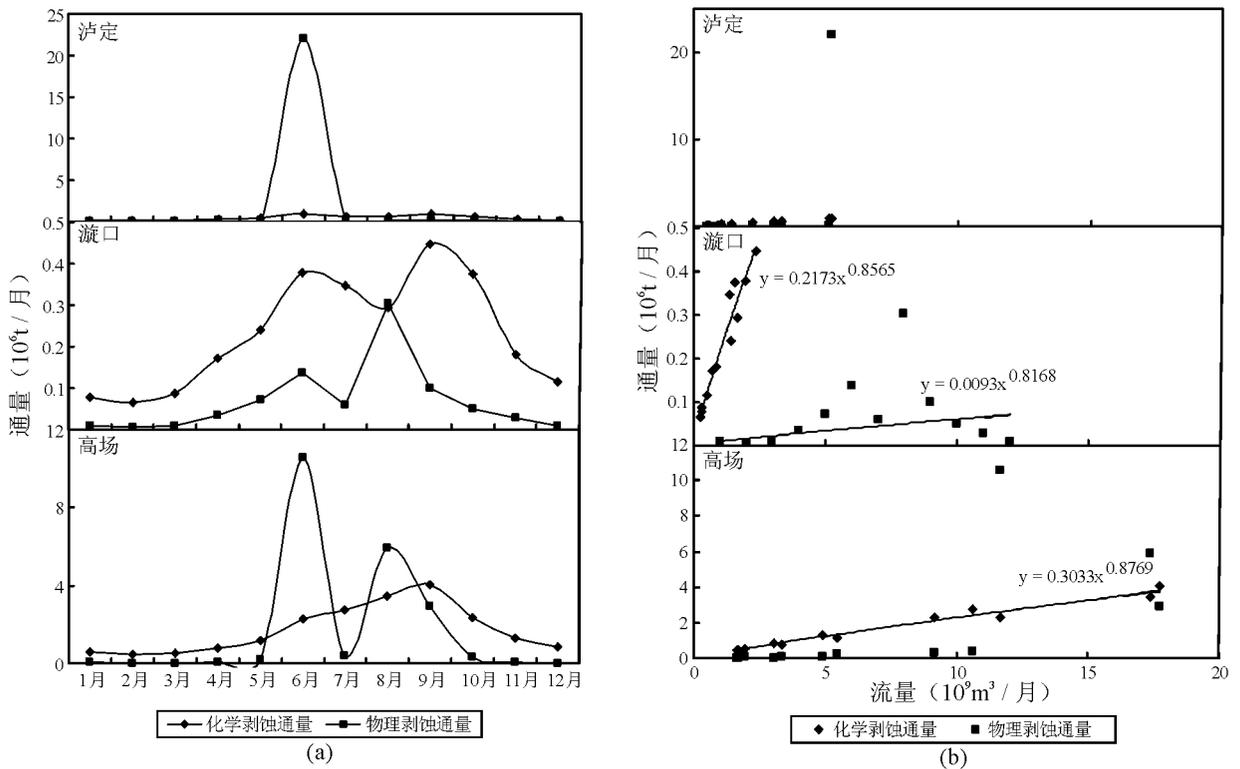


图4 (a) 化学剥蚀通量与物理剥蚀通量关系图; (b) 化学剥蚀通量、物理剥蚀通量与流量关系图

Fig. 4 (a) Relationship between the chemical denudation flux and physical denudation flux; (b) Relationship between the chemical denudation flux, physical denudation flux and water discharge

3 讨论

从上述对高场监测站主要离子浓度在时空上的变化特征所进行的分析表明, 岷江河流中的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 Ca^{2+} 在流经四川盆地时已受到了人类活动较为严重的影响。

河水中 SO_4^{2-} 污染的直接来源可以是化肥、工业和生活废物以及由路矿活动引起的黄铁矿加速风化和化石燃料燃烧引起的大气硫酸盐物质的增加。根据四川省 2001 年环境报告, 在岷江流域, 除青藏高原外, 其下游四川盆地受到了较严重的酸雨影响。图 7 表明, 高场站河水 SO_4^{2-} 浓度与酸雨频率和酸度存在着密切的关系。因此, 岷江河水 SO_4^{2-} 污染的主要来源应是四川盆地区严重的酸雨。

岷江河流 Cl^- 离子如世界上许多河流一样受到了污染。它的污染源是多源的, 包括生活和工业废水、化肥和井盐开采。在流域盆地中的两个大城市成都和乐山, 工农业发达, 人口密集, 是河流 Cl^- 的重要来源^[1]。而流域中频繁的石盐井下开采, 也增加了 Cl^- 的供应。

虽然世界河水中平均仅有 9% 的钙来自于人类污染, 但岷江河水中的 Ca 离子已经受到了较为严重

的污染。虽然其污染来源还有待进一步研究, 但在四川盆地进行的农业活动中大量使用的富 Ca 化肥应是一个重要来源。

4.5 通量

计算表明(表 1), 岷江流域(高场站) 2001 年化学剥蚀通量为 $20.48 \times 10^6 \text{t/yr}$, 与流量一样约占长江流域 10%; 化学剥蚀速率为 $155.9 \text{t/km}^2 \cdot \text{yr}$, 高于长江流域。

5 结论

对 2001 年岷江 4 个监测站监测数据进行的分析表明, 岷江河水 TZ^+ 高于世界河流平均值, 具有富 Alk 富 Ca 特征, 流域化学剥蚀通量为 $20.48 \times 10^6 \text{t/yr}$, 化学剥蚀速率为 $155.9 \text{t/km}^2 \cdot \text{yr}$ 。流域化学剥蚀通量与机械剥蚀通量不具相关性。化学剥蚀通量随流量有增大的趋势, 而机械通量与流量的相关性不明显。主要离子 K 、 Na 、 Mg 、 Cl 、 SO_4 和 HCO_3 浓度随流量增加呈降低趋势, 但 Ca 离子浓度与流量之间关系不明显。

河水主要离子 SO_4 、 Cl 和 Ca 在流经四川盆地时已受到了人类较为严重的影响, 酸雨是 SO_4^{2-} 的主

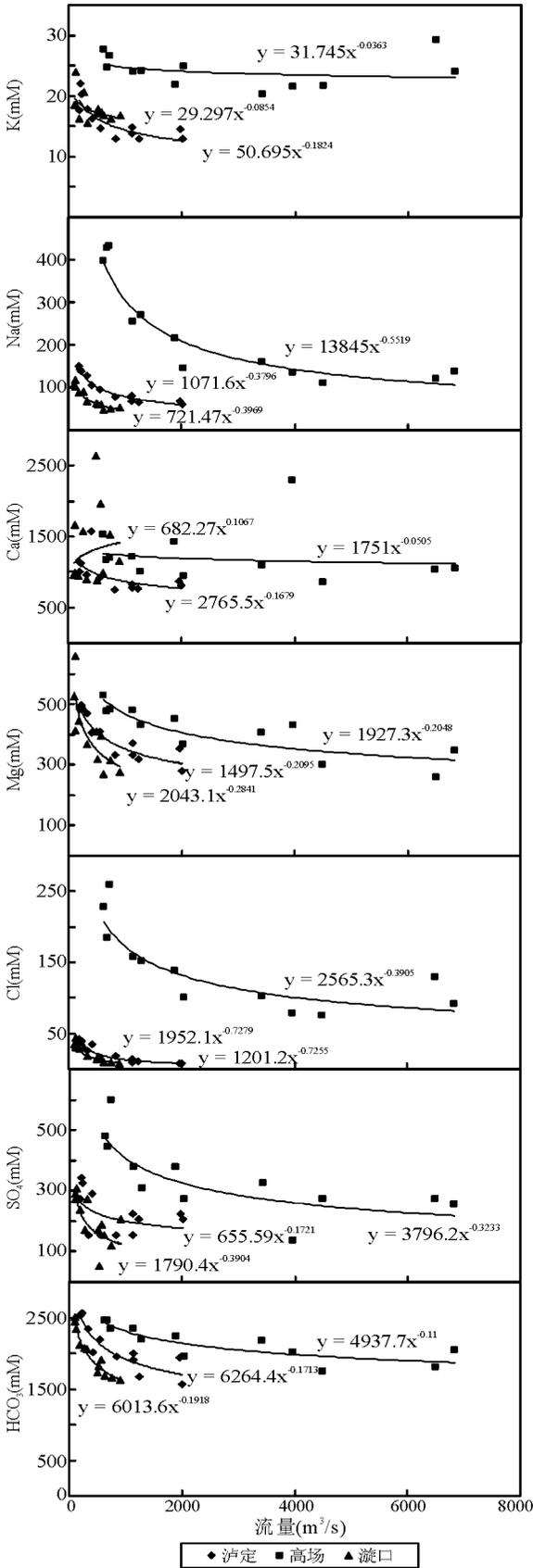


图5 监测点离子浓度与流量之间的关系

Fig. 5 Relationship between the ion concentrations and water discharge in individual monitoring stations

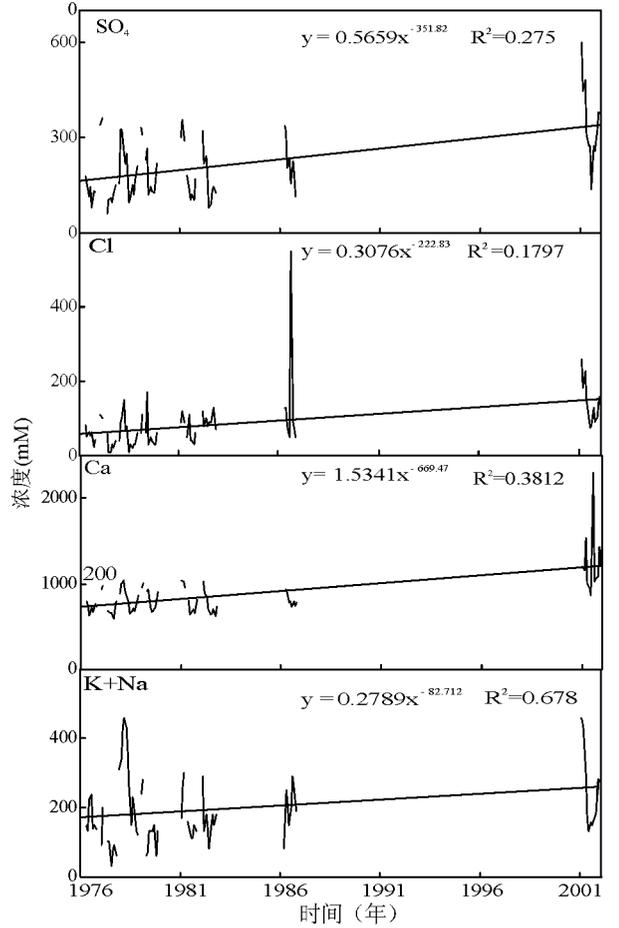


图6 高场站1976—2005年及2001年主要离子浓度时间序列变化

Fig. 6 The time-series trend of major ion concentrations in the Gaochang station in the years of 1976—1995 and 2001

表1 岷江流域2001年化学剥蚀通量和化学剥蚀速率
Table 1 Chemical denudation flux and rates along the Minjiang River in 2001

河流名称	年流量 (10m ³ /yr)	化学剥蚀通量 (10 ⁶ t/yr)	化学剥蚀速率 (t/km ² ·yr)	资料来源
岷江(高场站)	8.9	20.48	155.9	本文
长江	106.3	226	116	Huh等, 1982
世界平均	3140	3600	36	Sainn等 1989

要污染源, Cl 的污染源包括生活和工业废水, 化肥和井盐开采, 而在农业中使用的富 Ca 化肥是河流 Ca 污染的来源之一。

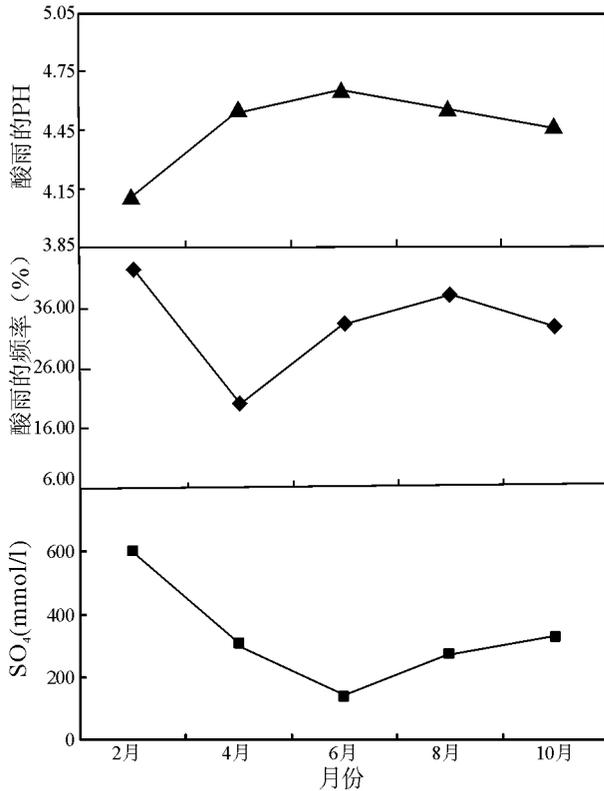


图7 岷江河水中 SO_4^{2-} 浓度(高场站)与四川省2001年酸雨的酸度及频率之间的关系

Fig. 7 Relationship between the SO_4^{2-} concentrations in the Gaochang station and the acidity and frequency of the acidic rain from Sichuan in 2001

参考文献:

- [1] HU M-H, STALLARD R F, EDMOND J M. Major ion chemistry of some large Chinese rivers [J]. Nature, 1982, 298: 550-553.
- [2] ZHANG J, HUANG W W, LIU M G, ZHOU Q. Drainage basin weathering and major element transport of two large Chinese rivers (Huanghe and Changjiang) [J]. J. Geophys. Res., 1990, 95: 13277-13288.
- [3] 夏星辉, 张利田, 陈静生, 等. 岩性和气候条件对长江水系河水主要离子化学的影响 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(2): 246-252
- [4] CHEN J et al. Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze) River [J]. Chem. Geol., 2002, 187(3-4): 231-255.
- [5] 四川省地矿局. 四川省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [6] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区构造单元的初步划分 [J]. 地质通报, 2002, 21, 701-707.
- [7] BURCHFIELD B C, CHEN Z, LIU Y, ROYDEN L H. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, Central China [J]. Int. Geol. Rev., 1995, 37(7): 661-735.
- [8] HUH Y, EDMOND J M. On the interpretation of the oceanic variations in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as recorded in marine limestone [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1998, 107: 293-305.
- [9] WHITE A F, BLUM A E. Effects of climate on chemical weathering in watersheds [J]. Geochim et Cosmo Acta, 1995, 59: 1729-1747.
- [10] ROY S et al. Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Seine River, France: Anthropogen impact, carbonate and silicate weathering [J]. Geochim et Cosmo Acta, 1999, 63: 1277-1292.
- [11] FETH J H. Mechanisms controlling world water chemistry [J]. Science, 1971, 172: 870-872.

Major ion geochemistry and anthropogenic impacts on the Minjiang River, Sichuan

QIN Jian-hua^{1, 2}, RAN Jing², DU Gu²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: The Minjiang River has a flow capacity of $8.9 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{yr}$, about 10% of that of the Changjiang River. The analysis of the data from four hydrologic stations has disclosed that the TZ^+ values for the Minjiang River are higher than the mean values for other rivers in the world. The river water is HCO_3^- and Ca-rich. The total chemical denudation flux in the Minjiang River is $20.48 \times 10^6 \text{ t/yr}$, about 13% of that of the Changjiang River. The chemical denudation rates are 155.9 t/km^2 per year. Since the Minjiang River flows through the densely populated Sichuan Basin, the concentrations of major ions such as SO_4 , Cl and Ca are seriously influenced by the anthropogenic factors; SO_4 mainly from the acidic rain; Cl from domestic sewage and industrial waste water, chemical fertilizer and salt production, and Ca from Ca-rich chemical fertilizer.

Key words: Minjiang River; geochemistry; anthropogenic impact; Sichuan