

DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2010.04.009

嘉陵江河水主要离子化学组成的时间和空间变化特征

鲍丽然^{1,2}, 李晓东¹, 刘小龙^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:通过2008年8月(雨季)及2009年2月(旱季)对嘉陵江流域河水进行密集采样,分析测定河水中主要阴、阳离子的化学组成,探讨河水水质的季节及空间变化特征。结果表明,嘉陵江河水离子化学组成主要受流域内碳酸盐岩的溶解控制。同时,降雨、流域内梯级电站开发及其他工农业生产生活活动等也是影响河水化学组成的重要因素。

关键词:嘉陵江; 离子化学组成; 岩石风化; 梯级电站开发; 人为活动

中图分类号: X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7647(2010)04-0035-06

Space-time variation of chemical composition of major ions in Jialing River//BAO Li-ran^{1,2}, LI Xiao-dong¹, LIU Xiao-long^{1,2}(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The chemical composition of major anions and cations in Jialing River basin were determined based on the dense collection of water samples in August 2008 (rainy season) and February 2009 (dry season). The space-time variation characteristics of the water quality were discussed. The results indicate that the chemical composition of ions in Jialing River is mainly controlled by the carbonate rock weathering. In addition, the precipitation and the development of cascade hydropower stations as well as other industrial, agricultural and domestic activities are also significant factors for the chemical composition of river water.

Key words: Jialing River; chemical composition of ions; rock weathering; cascade hydropower development; artificial activity

近100多年来,有关对河流水质的研究受到越来越多的关注。20世纪50年代,国际水文学会开展了一项全球河流水质研究计划并取得重要成果。1979年联合国相关组织又发起一项长期的全球淡水水质监测计划,对全球河流、湖泊和地下水的水质进行评价。20世纪60年代初,国内出现河流水化学研究成果,如乐嘉祥等^[1]编著的《中国河流水化学特征》以及中国河流总硬度图等。80年代初,胡明辉等^[2]根据对长江、黄河的研究指出,中国河流水的离子组成主要受碳酸盐岩、蒸发岩风化和溶蚀作用的影响,而受铝硅酸盐岩风化作用的影响不明显。如今,已有大量文献、数据资料可供参考^[3-5]。随着工农业的发展,河水化学组成除受岩石组分、大气降水、蒸发浓缩等影响外,还受人类活动的影响。通过对流域的自然条件和河水离子化学组成的分析,可以判别河水离子的主要来源及影响因素等。

2003年6月长江三峡工程建成,蓄水后库区水

位抬升,水流变缓,水体的复氧能力和自净能力变差,水体更新缓慢^[6]。三峡水库水质的好坏主要与入库河流(长江干流及其主要支流岷江、嘉陵江、乌江等)水质和库区污染源的排放有关。在这些支流中,嘉陵江流域面积最大,总径流量大于乌江,水土流失严重,且流经工农业发达、人口较多的四川盆地,河水水质受人类活动的影响较大,所以该支流对三峡库区水体环境至关重要。过去对嘉陵江的研究主要针对径流变化^[7],水土流失^[8],氮、磷污染^[9]等,流域内土壤中大量氮、磷营养元素随水土流失被带入河流,导致水体营养盐浓度普遍较高,嘉陵江梯级电站开发加剧了水体富营养化^[10]。李松等^[11]在2004年调查嘉陵江营养盐分布特征时指出“嘉陵江水体硝酸盐浓度值比同期长江干流偏高”。夏星辉等^[5]在研究岩性和气候条件对长江水系河水离子化学的影响时,指出嘉陵江干流及其支流涪江河水离子含量主要由石灰岩的溶解控制,其次是蒸发岩的

基金项目:国家自然科学基金(40703004)

作者简介:鲍丽然(1983—),女,河北石家庄人,硕士研究生,从事水文地球化学研究。E-mail:blr1999@163.com

通讯作者:李晓东(1977—),男,副研究员,从事环境地球化学研究。E-mail:lixiaodong@mails.gyig.ac.cn

溶解,而另一支流渠江的离子含量则受蒸发岩溶解作用的影响更大。目前,对嘉陵江流域河水水质进行系统地调查采样、分析和研究的报道较少。本文通过在该流域密集采样,分析整个流域从源头到长江汇合口不同区段、不同季节(雨季和旱季)的河水离子化学组成,并着力探讨控制河水离子化学组成的主要影响因素(自然条件和人类活动)。

嘉陵江是长江主要支流之一,发源于陕西省凤县秦岭南麓,自北向南流至重庆市朝天门码头后注入长江。全长 1 120 km,流域面积 16 万 km²,多年平均流量为 2 165 m³/s。流域内主要有嘉陵江干流、渠江、涪江 3 大水系及干流西岸的西汉水和白龙江。属亚热带季风气候,降水季节分配不均,夏秋多雨,冬春少雨。上游人口密度相对较低,但进入四川盆地后显著升高,中下游区段主要流经四川盆地,人居较多,工农业生产发达^[12]。20 世纪末到 21 世纪初,嘉陵江航电工程逐步展开,共计划建设 16 级航电枢纽。目前,已建成金银台、红岩子、新政、马回、东西关、桐子壕等 6 个航电枢纽^[13]。该流域主要位于准扬子地台,上游有地槽褶皱带。地层从元古界至新生界均有出露,以志留系、泥盆系和三叠系、侏罗系、白垩系较为发育。岩性以砂岩、页岩和碳酸盐岩为主。盆地内广泛分布侏罗纪红色砂岩^[12]。

1 样品采集和分析

河水水样共采集了 2 次,分别在丰水期(2008 年 8 月,采样时在 JL03 样点遇到降雨)及枯水期(2009 年 2 月)。沿嘉陵江干流源头至下游每间隔约 50 km 设 1 个采样点,从源头(秦岭)至与长江汇合口(重庆朝天门)共采集干流水样 23 个,在支流西汉水、白龙江、涪江、渠江汇入干流前 10~20 km 处各设 1 个采样点,在汇入嘉陵江前后位置各采集 1 个水样。嘉陵江流域主要水系及采样点分布见图 1。

河水水样主要利用渡船(或桥梁)在断面主流水下 1.0 m 处采集,现场用 HORIBA D54 便携式水质参数仪测定 pH 值、电导率和温度,并用 $c = 0.02 \text{ mol/L}$ 的稀盐酸现场滴定碱度,结果以 HCO_3^- 质量浓度计算。水样经过 $0.45 \mu\text{m}$ 混合纤维素滤膜过滤后,装入洗净的塑料瓶中。用于测定阳离子的 1 瓶水样加入适量浓 HNO_3 作为保护剂^[14],另外 1 瓶直接保存用于测定阴离子。阳离子(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)采用 ICP-OES 电感耦合等离子体发射光谱仪测定;阴离子(Cl^- , SO_4^{2-})采用 ICS-90 型离子色谱仪测定, NO_3^- 离子采用荷兰 SKALAR SAN⁺⁺ 连续流动分析仪测定。测试结果见表 1 和表 2。

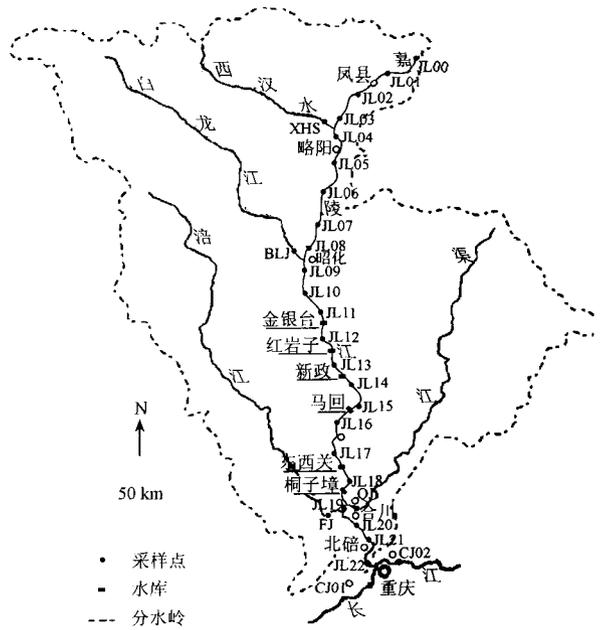


图 1 嘉陵江流域采样点分布

2 结果与讨论

2.1 TDS

河水中的溶解性固体(TDS)包括水中的离子、分子及络合物,其主要来源有:①大气对海洋盐的输入;②硅酸岩、碳酸盐岩、蒸发岩的风化与溶解;③人类活动的输入^[15]。

图 2 为嘉陵江干流各采样点水中阴阳离子组成的三角图。由图 2 可以看出,阳离子中, Ca^{2+} 属优势离子,其质量分数约为 60%, Mg^{2+} 的质量分数为 20%~30%, K^+ 和 Na^+ 的质量分数较低($< 15\%$);阴离子中, HCO_3^- 属优势离子,其质量分数约为 60%, SO_4^{2-} 的质量分数为 20%~30%, Cl^- 和 NO_3^- 的质量分数较低($< 10\%$)。该离子组成特征与岷江、乌江类似,以 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 为主,属典型的碳酸盐岩河流^[16]。嘉陵江各支流同样以 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 为主,离子组成主要受碳酸盐岩风化控制。

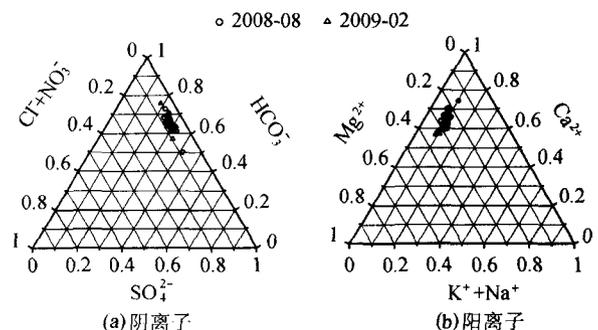


图 2 嘉陵江干流各采样点水中阴阳离子组成的三角图

表1 2008年8月(丰水期)各采样点离子化学数据

mg/L

采样点	位置	$\rho(\text{Ca}^{2+})$	$\rho(\text{Mg}^{2+})$	$\rho(\text{Na}^+)$	$\rho(\text{K}^+)$	$\rho(\text{HCO}_3^-)$	$\rho(\text{Cl}^-)$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$	$\rho(\text{NO}_3^-)$	$\rho(\text{TDS})$
JL00	源头	15.7	1.9	2.2	0.5	24.3	0.9	15.8	2.67	69.57
JL01	凤县上	43.1	12.1	8.6	1.9	147.1	4.2	34.9	3.16	260.74
JL02	嘉陵镇	46.4	11.6	8.9	2.1	144.4	4.3	46.6	5.04	271.11
JL03	西汉水汇合前	48.9	12.1	9.2	2.0	143.0	4.5	54.7	3.80	280.88
JL04	西汉水汇合后	46.3	12.6	8.5	2.0	145.7	4.9	54.5	4.24	281.20
JL05	略阳白岩寺	49.1	14.7	8.8	2.9	145.7	6.4	62.0	3.01	300.48
JL06	阳平关	52.8	11.1	7.1	2.8	143.0	4.5	56.9	8.81	287.24
JL07	广元朝天	48.5	11.4	7.6	2.5	133.6	4.4	54.9	7.60	272.23
JL08	白龙江汇合前	51.4	10.5	6.3	2.5	133.6	3.7	54.3	9.12	271.55
JL09	白龙江汇合后	48.8	13.0	5.7	2.1	140.3	3.0	55.4	6.47	275.79
JL10	虎跳广元苍溪	46.6	10.6	5.9	2.2	133.6	3.9	51.3	8.49	262.70
JL11	苍溪下红军渡	47.7	10.9	5.9	2.2	147.1	3.4	50.0	7.68	275.64
JL12	阆中下双龙镇	36.3	8.3	4.0	1.4	103.9	2.5	36.9	6.02	201.68
JL13	南部下盘龙镇	37.6	8.4	4.1	1.5	106.6	2.7	37.0	7.43	206.64
JL14	仪陇下富利镇	37.3	7.1	3.7	1.6	95.8	2.7	36.2	7.63	191.76
JL15	蓬安县大桥	40.5	7.5	4.2	1.8	105.2	3.1	37.7	7.34	207.15
JL16	南充上龙门镇	43.4	8.3	4.8	2.0	112.0	3.3	39.4	6.65	219.76
JL17	南充下李渡镇	44.5	9.4	5.8	2.1	124.1	4.3	43.2	6.16	240.49
JL18	武胜下大石镇	47.5	12.6	7.3	2.0	154.4	4.6	43.2	4.57	278.29
JL19	渠江汇合后	42.5	8.7	7.0	1.9	127.6	5.8	34.9	5.08	236.07
JL20	合川下盐井镇	47.4	10.5	7.3	2.2	134.9	6.1	42.1	7.11	257.28
JL21	北碚澄江镇	48.0	10.5	7.4	2.3	134.9	6.3	41.7	7.21	258.13
JL22	朝天门码头	46.5	10.3	7.6	2.2	134.9	6.1	41.9	6.89	256.47
XHS	西汉水	42.6	17.3	10.7	2.3	163.3	6.1	52.1	2.89	301.42
BLJ	白龙江	44.2	13.9	5.6	1.5	144.4	2.6	48.3	4.30	267.06
QJ	渠江	40.1	6.6	6.8	1.8	116.3	6.5	31.1	5.12	216.83
FJ	涪江	50.5	8.5	7.2	2.7	122.0	8.7	45.4	12.25	252.02
CJ1	长江汇合前	35.0	9.6	9.8	1.9	122.0	9.5	30.6	4.92	225.59
CJ2	长江汇合后	37.0	9.6	9.5	1.9	122.0	8.9	32.3	5.48	228.37

表2 2009年2月(枯水期)各采样点离子化学数据

mg/L

采样点	位置	$\rho(\text{Ca}^{2+})$	$\rho(\text{Mg}^{2+})$	$\rho(\text{Na}^+)$	$\rho(\text{K}^+)$	$\rho(\text{HCO}_3^-)$	$\rho(\text{Cl}^-)$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$	$\rho(\text{NO}_3^-)$	$\rho(\text{TDS})$
JL00	源头	14.1	1.8	2.7	0.6	26.6	1.1	12.0	2.3	66.90
JL01	凤县上	48.3	12.8	8.0	1.9	180.5	4.9	34.2	4.9	296.48
JL02	嘉陵镇	51.8	12.4	8.2	1.8	173.5	5.5	47.1	6.5	306.39
JL03	西汉水汇合前	57.2	13.1	8.6	2.1	187.5	7.0	62.2	6.7	344.19
JL04	西汉水汇合后	59.0	14.1	9.1	2.0	187.5	6.5	61.5	6.1	346.65
JL05	略阳白岩寺	56.4	16.3	11.0	2.5	197.3	8.3	66.5	4.8	365.12
JL06	阳平关	54.8	15.8	10.1	2.2	194.5	7.6	63.1	4.8	354.71
JL07	广元朝天	55.0	15.3	9.4	2.1	190.3	6.5	57.8	4.5	342.83
JL08	白龙江汇合前	58.0	15.4	11.0	2.1	198.7	9.2	67.0	5.2	367.83
JL09	白龙江汇合后	50.7	16.0	8.0	1.8	183.3	5.2	55.9	4.1	325.90
JL10	虎跳广元苍溪	44.7	15.9	6.9	1.5	174.9	3.9	47.3	3.1	298.96
JL11	苍溪下红军渡	46.4	15.9	7.2	1.6	174.9	4.1	48.2	3.2	302.05
JL12	阆中下双龙镇	45.5	15.7	7.0	1.5	170.7	4.1	46.7	3.5	294.68
JL13	南部下盘龙镇	46.3	14.8	7.1	2.0	166.5	4.6	46.6	3.3	290.96
JL14	仪陇下富利镇	45.5	15.4	7.2	2.1	173.5	4.5	47.7	3.2	297.12
JL15	蓬安县大桥	46.4	15.4	7.4	1.7	169.3	4.7	47.1	2.9	292.23
JL16	南充上龙门镇	43.7	14.9	7.0	1.6	163.7	4.7	46.3	2.9	282.40
JL17	南充下李渡镇	46.3	15.4	8.5	1.8	170.7	6.4	49.0	3.1	298.45
JL18	武胜下大石镇	44.8	14.8	8.1	1.7	169.3	6.3	48.8	3.5	294.11
JL19	渠江汇合后	50.1	12.8	9.8	2.0	166.5	7.8	51.2	3.8	301.70
JL20	合川下盐井镇	50.8	13.8	10.2	2.1	172.1	9.2	55.1	4.9	314.78
JL21	北碚澄江镇	51.0	14.3	10.5	2.1	176.3	10.1	56.8	5.4	322.48
JL22	朝天门码头	52.3	14.3	11.1	2.4	173.5	10.7	58.1	5.4	323.71
XHS	西汉水	54.4	17.3	11.2	2.7	209.9	8.1	60.0	3.3	370.26
BLJ	白龙江	45.7	15.8	6.6	1.5	173.5	3.6	53.5	3.3	304.35
QJ	渠江	52.6	9.9	10.9	2.4	165.1	9.7	55.9	4.8	309.45
FJ	涪江	59.5	15.1	12.4	2.5	194.5	16.3	69.2	8.1	372.00
CJ1	长江汇合前	42.8	12.7	11.1	1.9	151.1	10.3	46.8	4.6	282.65
CJ2	长江汇合后	44.6	13.2	11.1	2.1	155.3	10.5	49.0	4.8	290.61

图3为嘉陵江干流采样点TDS组成变化。图3中,源头区域水样TDS质量浓度较高,由于降雨的稀释作用,丰水期低于枯水期。进入四川盆地后,TDS质量浓度有所降低,其原因是雨季恰逢降雨,而旱季可能是由于四川盆地主要是由砂岩和页岩构成^[17],其风化溶解速度较缓慢。顺江而下,进入嘉陵江梯级电站开发区段后,雨季TDS质量浓度下降显著,而后缓慢上升,这是因为筑坝后水流变缓,随颗粒物吸附而沉降的溶质增加而导致TDS质量浓度下降;旱季TDS质量浓度变化较为平稳。再往下游,TDS质量浓度呈现出逐渐上升趋势,这是由于人口密度逐渐增大,工农业相对发达,人为排放物增多,使河流中的TDS也越来越多。

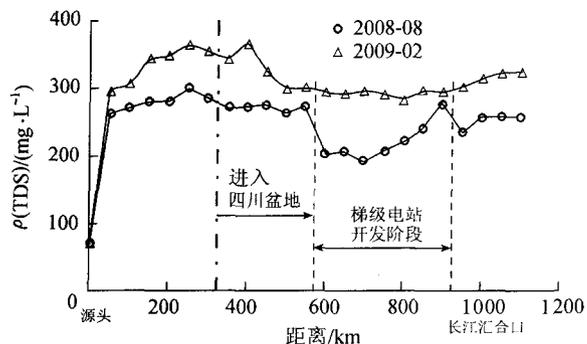


图3 嘉陵江干流各采样点TDS组成变化

2.2 阳离子

2.2.1 Ca^{2+} 和 Mg^{2+}

图4为嘉陵江干流各采样点 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 组成变化。如图4所示,由于降雨稀释作用, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 质量浓度均为丰水期低于枯水期。陈静生等^[18]在对1958—1990年长江水系监测资料的统计分析时,得出嘉陵江 Ca^{2+} 质量浓度为41.1mg/L。而本文数据为丰水期44.2mg/L,枯水期48.7mg/L,年平均值为46.4mg/L。同样 Mg^{2+} 年平均值也由过去的9.4mg/L提高到12.2mg/L。嘉陵江流域河水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 主要来源于碳酸盐岩的风化溶解,这2种离子质量浓度增加,说明碳酸盐岩的溶解作用加强。一般情况下,碳酸盐岩的溶解反应方程式

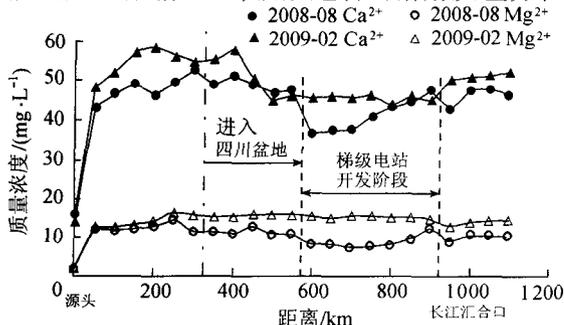
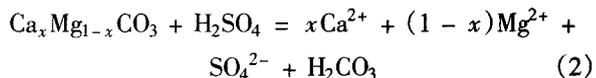
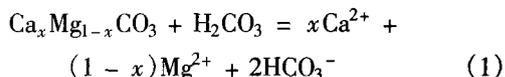


图4 嘉陵江干流各采样点 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 组成变化

如下:



若流域内酸沉降严重或存在黄铁矿的氧化,会发生如式(2)的反应,导致河水中 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的质量浓度明显增加。类似的研究结果已在乌江流域被证实^[16]。由于高含硫煤的燃烧,四川盆地是严重的酸沉降地区,酸雨(硫酸)参与碳酸盐岩的风化,导致河水中上述离子质量浓度增加。式(1)和式(2)反应结果均会产生 HCO_3^- ,而1958—1990年期间 HCO_3^- 的平均质量浓度为143.5mg/L,本文中丰水期 HCO_3^- 的质量浓度为127.8mg/L,枯水期 HCO_3^- 的质量浓度为171.4mg/L,平均质量浓度为149.6mg/L,说明水体碱度(以 HCO_3^- 质量浓度计算)的变化不大。这与Hultman的研究结果一致,是由于广泛分布的碳酸盐岩溶解和碳酸钙沉淀的缓冲效应所致^[19]。

2.2.2 Na^+ 和 K^+

Na^+ 和 K^+ 的自然来源包括蒸发岩和硅酸盐岩的风化溶解,人为源则包括工业及生活用NaCl和农业肥料等。本文中, K^+ 和 Na^+ 质量浓度很低,可见蒸发岩的溶解对河水离子化学组成的贡献并不显著。 Na^+ 和 K^+ 两者质量浓度的年平均之和为9.38mg/L,与陈静生得出的9.4mg/L相比几乎没有变化。而夏学齐^[20]在对2007年7—8月长江水样离子数据与陈静生统计的数据进行比较时,得出长江干流 Na^+ 和 K^+ 质量浓度增加了近1倍的结果。所以,嘉陵江 Na^+ 和 K^+ 对三峡库区贡献不大。图5为嘉陵江干流各采样点 Na^+ 和 Cl^- 组成变化。图5中, Na^+ 质量浓度旱季高于雨季,进入四川盆地后质量浓度显著下降,之后由于人为输入量的增多,呈现快速上升趋势。

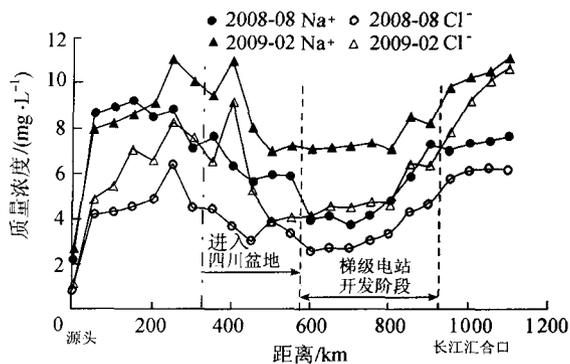


图5 嘉陵江干流各采样点 Na^+ 和 Cl^- 组成变化

2.3 阴离子

2.3.1 Cl^-

河水中的 Cl^- 主要来源于大气输入、蒸发岩的溶解,以及矿山、工业、城市、农业等^[21]。研究区处于内陆、远离海洋,排除大气输入来源,流域内蒸发岩的溶解对河水离子组成的贡献也很少。从图 5 可以看出,降雨稀释后 Cl^- 质量浓度降低,进入梯级电站开发区后降低速度变缓,之后快速上升。另外, Na^+ 与 Cl^- 质量浓度具有相同的变化趋势。通过数理统计计算,其相关关系为:雨季,样本数 $n = 29$, $R = 0.75$,显著性水平 $p < 0.001$;旱季,样本数 $n = 29$, $R = 0.92$,显著性水平 $p < 0.001$ 。两者相关性很强,这说明两者来源相似,主要是人为来源,可能来自于居民生活用食盐及工业用含氯物质等。

2.3.2 NO_3^-

硝酸盐的来源可以分为点源和非点源两大类:点源是指通过排放口或管道排放污染物的污染源,主要包括工业废水、城镇生活污水、固体废物处置场等;非点源是指点源以外的污染源,主要包括由降雨产流过程把地表和大气中溶解的和固态的污染物带入水域而使其遭受污染的所有污染源,包括城镇地表径流、农业地表径流、林区地表径流、大气降雨降尘、水产养殖业和流动船舶等^[22]。农业面源往往随农田径流流入河流,因此受到降雨等条件的影响,往往表现为丰水期高于枯水期。

王德蕊等^[23]于 2002 年对三峡库区各江段水质进行了监测,局部水域达到发生富营养化的氮磷条件。嘉陵江河水中的总氮量是岷江、乌江的 3~4 倍,是三峡库区主要氮源输入支流^[24],其无机氮质量浓度的增加势必对库区水质产生严重影响。图 6 为嘉陵江干流各采样点 NO_3^- 组成变化。图 6 显示,进入四川盆地后,硝酸盐质量浓度丰水期明显高于枯水期,说明河水中硝酸盐主要来自农业面源污染。该结果与李松等^[11]的嘉陵江营养盐属于面源污染结论相同。在嘉陵江梯级电站开发阶段, NO_3^- 质量浓度降低是由于河流中的氮以溶解态和颗粒态两种

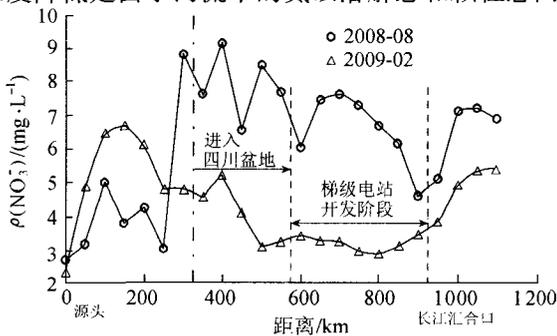


图 6 嘉陵江干流各采样点 NO_3^- 组成变化

形式存在,嘉陵江中溶解态氮占总氮的 65% 以上,其余为颗粒态氮。进入电站开发区段,水流变缓慢,颗粒态氮沉积下来,致使 NO_3^- 质量浓度下降。另外,微生物及藻类作用加强,硝酸盐被异化还原及被同化吸收,也可导致其质量浓度降低^[22]。

2.3.3 SO_4^{2-}

河水中硫酸盐的来源为岩石(石膏)的风化溶解、硫化物的氧化、煤矿废水、大气降水(酸雨)和人为输入^[25]。1958—1990 年间, SO_4^{2-} 质量浓度为 26.3 mg/L,而本研究中丰水期 SO_4^{2-} 质量浓度为 44.6 mg/L,枯水期为 51.1 mg/L,年平均值为 47.9 mg/L,枯水期比丰水期增加了近 1 倍。另外,与长江其他支流相比,嘉陵江的 SO_4^{2-} 质量浓度明显偏高^[15]。

Chen 等^[15]讨论了长江流域川江段水体中 SO_4^{2-} 质量浓度增加的主要原因,将河水 SO_4^{2-} 质量浓度及燃煤量作一关系图,两者变化趋势相同,即燃煤量上升,河水硫酸根质量浓度增加。四川省以煤为主要能源,加之盆地海拔低,四面环山,排入大气中的 SO_2 不易流出盆地,而与水汽混合形成酸性降雨^[26]。盆地内基本上都是酸雨区,嘉陵江流域的南充、重庆更是严重污染区,有时降水 $\text{pH} < 4.3$ 。随着人们对煤炭能源需求量的增加,大气中 SO_2 量增加,酸雨污染越加严重。马丽雅等^[27]指出,四川省 2001—2005 年各年度降水 pH 值平均为 4.72~4.95,并且呈下降趋势。四川盆地内的硫酸型酸雨导致河水中 SO_4^{2-} 质量浓度在近 20 年急剧增加的同时,也加强了对碳酸盐岩矿物的溶解,与上文 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 质量浓度增加的解释一致。

图 7 为嘉陵江干流各采样点 SO_4^{2-} 组成变化。如图 7 所示, SO_4^{2-} 质量浓度的季节变化不明显,但在进入梯级电站开发区段后,枯水期 SO_4^{2-} 质量浓度明显高于丰水期。这是由于梯级电站开发阶段后水流变缓,河水中的部分颗粒态 SO_4^{2-} 沉淀下来,导致水体中 SO_4^{2-} 质量浓度降低。

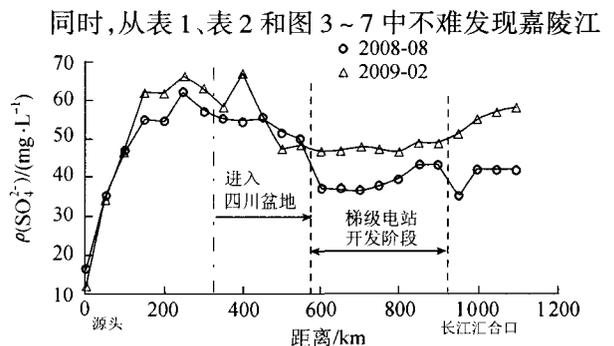


图 7 嘉陵江干流各采样点 SO_4^{2-} 组成变化

河水中的所有离子质量浓度无论雨季或旱季,源头区域(即表1、表2中JL00~JL06,图3~7中“进入四川盆地”之前)都较高,NO₃⁻与SO₄²⁻尤为突出。推断其原因可能是由于源头水量较小,加上乡镇企业较多,共同导致这些离子质量浓度偏高。

3 结 论

a. 嘉陵江水系河水离子化学组成主要受碳酸盐岩控制,阳离子以Ca²⁺为主,阴离子以HCO₃⁻为主,其次是Mg²⁺和SO₄²⁻。

b. 嘉陵江干流离子质量浓度受岩性、气候及人类活动的影响,从上游至下游有先降低后又升高的趋势。梯级电站开发使河流流速变缓,离子沉降增强,阻碍营养物质的传输。

c. 嘉陵江中的硝酸盐主要来自农业面源污染,SO₄²⁻的增加主要是由当地的干湿酸沉降引起的。

参考文献:

- [1] 乐嘉祥,王德春.中国河流水化学特征[J].地理学报,1963,29(1):1-13.
- [2] HU M H, STALLARD R F, EDMOND J M. Major ion chemistry of some large Chinese rivers[J]. Nature, 1982, 298(5):552-553.
- [3] 陈静生,夏星辉.我国河流水化学研究进展[J].地理科学,1999,19(4):290-293.
- [4] 陈静生,何大伟.珠江水系河水主要离子化学特征及成因[J].北京大学学报:自然科学版,1999,35(6):787-793.
- [5] 夏星辉,张利田,陈静生.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):2-5.
- [6] 兰峰.三峡工程蓄水前后库区河流水质变化分析[J].人民长江,2008,39(1):7-8.
- [7] 许炯心,孙季.嘉陵江流域年径流量的变化及其原因[J].山地学报,2007,25(2):1-3.
- [8] 许炯心.人类活动和降水变化对嘉陵江流域侵蚀产沙的影响[J].地理科学,2006,26(4):432-437.
- [9] 邱会东,贾云,赵鹏林,等.嘉陵江重庆主城区段水域中氮和磷的形态特征分析[J].重庆科技学院学报:自然科学版,2005,7(2):56-57.
- [10] 谌柯,罗明云,张崇昆,等.嘉陵江干流(南充段)梯级航电开发对生态环境的影响和对策研究[J].西华师范大学学报:自然科学版,2007,28(2):195-199.
- [11] 李松,张晟,刘景红,等.嘉陵江营养盐分布特征及对三峡水库的影响[J].安徽农业科学,2007,35(23):228-230.
- [12] 李铁松,张桥英.嘉陵江的起源及流域自然环境研究[J].四川师范学院学报:自然科学版,1996,20(2):1-2.

- [13] 四川省交通厅.嘉陵江渠化工程让沿江城市绽放美丽[J].四川交通,2009(6):1-3.
- [14] 国家环境保护总局,水和废水监测分析方法编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002:43-45.
- [15] CHEN Jing-sheng, WANG Fei-yue, XIA Xing-hui, et al. Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze River)[J]. Chemical Geology, 2002, 187:231-255.
- [16] 韩贵琳,刘丛强.贵州乌江水系的水文地球化学研究[J].中国岩溶,2000,19(1):35-42.
- [17] 张志真.四川盆地[EB/OL].[2009-11-05].http://baike.baidu.com/view/20931.htm?fr=ala0.
- [18] 陈静生,王飞越,夏星辉.长江水质地球化学[J].地学前缘,2006,13(1):76-78.
- [19] HULTMAN B, MEYBECK M, CHAPMAN D, et al. Acidification, in global freshwater quality, a first assessment[M]. London: Blackwell, 1992.
- [20] 夏学齐,杨忠芳,王亚平,等.长江水系河水主要离子化学特征[J].地学前缘,2008,15(5):3-5.
- [21] 陈静生.水质原理及中国河流水质[M].北京:科学出版社,2006:43.
- [22] 郑丙辉,曹承进,秦延文,等.三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J].环境科学,2008,29(1):125-131.
- [23] 王德蕊,钟成华,邓春光,等.长江三峡库区蓄水前氮磷污染现状初步研究[J].西南农业大学学报:自然科学版,2005,27(1):124-127.
- [24] LIU C, WANG Q X, WATANABE M. Nitrogen transported to Three Gorges Dam from agro-ecosystems during 1980—2000[J]. Biogeochemistry, 2006, 81:291-312.
- [25] YOON J Y, HUH Y S, LEE I S, et al. Weathering processes in the Min Jiang: Major Elements, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ^δ³⁴S_{SO₄}, and ^δ³⁴O_{SO₄}[J]. Aquat Geochem, 2008(14):147-170.
- [26] 魏菱,邓新华,刘仲秋.四川省酸雨污染现状及趋势分析[J].四川环境,2001,20(4):63-65.
- [27] 马丽雅,王斌,杨俊国.四川省酸雨时空分布特征[J].环境科学与管理,2008,33(4):26-29.

(收稿日期:2010-03-04 编辑:方字形)

