

喀斯特流域水体中离子时空变化特征

蒙海花,王腊春

(南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京 210093)

摘要 :依据贵州后寨河流域 15 个水化学监测站 1981 ~ 2001 年的水化学监测数据 ,对该流域水化学特征及其与流域降雨量、岩性及土地利用的关系进行了统计分析。结果表明 ,后寨河流域水化学组成呈明显的时间和空间分布特征。主要离子的变化与降水丰、枯季节、丰枯周期年变化有紧密的关系 ,其变化趋势在空间上呈有规律的分布 ,基本反映了水体中离子的空间变化特征。

关键词 :喀斯特 ;水化学特征 ;离子含量

中图分类号 :P641.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2007)05-0001-05

Spatial-temporal characteristics of the ions in Karst Basin

MENG Hai-hua , WANG La-chun

(School of Geographic and Oceanographic Sciences , Nanjing University , Nanjing 210093 , China)

Abstract :Based on the data of 15 hydro-chemical monitoring stations in Houzhai River Basin from 1981 to 2001 , the hydro-chemical characteristics and the relations between hydro-chemical characteristics and rainfall , lithology , and land use were analyzed. The results indicate that the hydro-chemical constitutes show obvious spatial-temporal distribution characteristics. The variations of main ions are closely related to precipitation in flood season , dry season , and precipitation in different years. The main ions vary regularly in space , which presents the spatial variations of the ions on the whole.

Key words :Karst ; hydro-chemical characteristics ; ion concentration

岩溶水在其形成过程中受各种补给水源溶蚀岩石、土壤等地表组成物质补给 ,使岩溶水富集了各种离子和分子 ,其发生和变化均与流域内、外环境紧密联系 ,是各种自然条件和人为活动综合作用的产物。碳酸盐岩分化作用后的产物在很大程度上控制了地表水系的地球化学组成 ,对碳酸盐岩地区流域的地球化学组成变化的系统研究 ,将有助于我们了解碳酸盐岩地区的化学分化作用与水文地球化学特征的关系和控制河水地球化学组成变化的多种因素^[1]。

就喀斯特地区河流地球化学研究的重要性的意义来说 ,对喀斯特地区河流的水文地球化学研究显得很不足。本文对贵州喀斯特地区河流(后寨河)的水文地球化学进行了系统研究 ,研究结果对了解该流域的地质状况、岩石/土壤的化学分化、喀斯特地

区的土地利用等方面具有重要的意义。

1 研究区概况

后寨河流域位于贵州省普定县 ,流域面积 81 km² ,海拔高度一般为 1100 ~ 1400 m ,最高 1585 m。相对高差一般为 250 ~ 300 m ,最大达 363 m。上游为峰丛、洼地、漏斗地貌组合类型 ,中游为峰林、槽谷类型 ,下游为丘陵、谷地、盆地类型。全流域形成以峰林、峰丛、丘陵与谷地、洼地、盆地相间的地貌景观 ,在云贵高原具有广泛的代表性。

本研究区属亚热带季风气候区 ,全年温湿多雨 ,冬温夏暖 ,春干秋雨。根据普定气象站资料 ,年平均温度为 15.1℃ ,最冷月(1 月)平均气温 5.2℃ ,最热月(7 月)平均温度 23℃ ,极端最高气温 34.7℃ ,最低

基金项目 :国家自然科学基金(40571024)
作者简介 :蒙海花(1983—),女,山西朔州人,硕士研究生,研究方向为水文水资源。E-mail :huahuap@126.com

- 11.1℃。无霜期长达 289 d ,平均日照时数为 1184 h。

区内雨量丰沛 ,但时空分布不均。根据试验场内观测资料(1980 ~ 1995 年) ,多年平均降雨量为 1314.6 mm ,雨季集中在 6 ~ 8 月 ,3 个月雨量占全年总量 62% 左右。

试验场内地表、地下河发育。后寨河是试验场内唯一的地表河 ,其源头为母猪洞地下河出口 ,沿程有号营河、灯盏河汇入 ,经青山水库后至后寨水文站流出试验场 ,汇入波玉河。后寨河是一条季节性河流 ,部分河段的河床渗漏严重。除后寨河外 ,场内还发育了一条地下河 ,即后寨(冒水坑)地下河系。其主要通道经老黑潭、六谷至后寨、冒水坑处流出地表 ,汇入后寨河(图 1)。

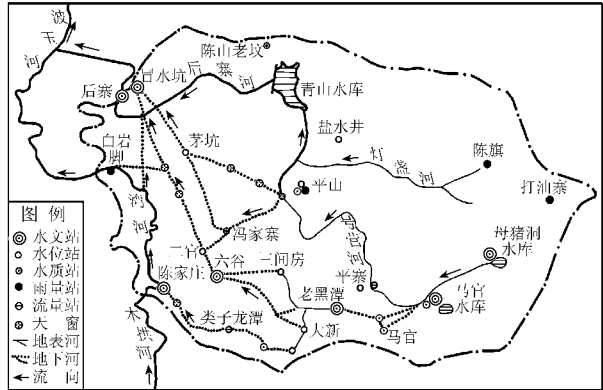


图 1 后寨流域水文及测站网分布

2 研究方法

以贵州后寨河流域 15 个测站的 1981 ~ 2001 年水化学资料 ,用 Excel 数据处理软件、SPSS 统计软件以及模糊聚类法 ,对各站点的水化学数据进行处理 ,对各测站的水化学特征用各种表格、图形进行分析和表达。研究了后寨河流域离子浓度在时间序列上的变化趋势以及空间上的分布特征 ,同时分析了造成时间 ,空间上变化的原因。

3 结果与分析

本区域岩溶水化学组成特点是阴离子以 HCO_3^- 占优势 ,阳离子以 Ca^{2+} 离子为主 ,离子顺序分别为 : $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ 。其中 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 在水中的含量之和占总矿化度的 78% 以上 ,其他成分的总和为 22% ,尤其是 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 离子含量低微(图 2)。这主要是由含水层岩组的化学成分决定的 ,研究区内分布有富含碳酸盐矿物岩石的大理石、白云岩、石灰岩等 ,同时水热条件充分 ,植物生长旺盛 ,有机质氧化分解所产生的 CO_2 源源不断补给天然水 ,为碳酸盐溶解创造

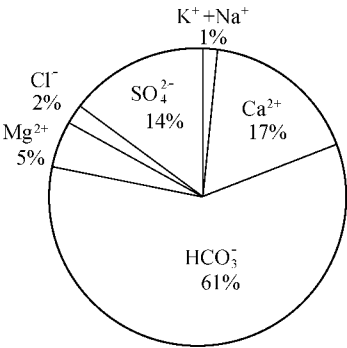


图 2 离子浓度比例

3.1 水化学特征的时间分布特征

3.1.1 水化学成分的时间变化特征

通过对本研究区 15 个站点降雨量与水体中各离子浓度的分析表明 ,流量增加时 ,水中离子浓度减小 ,相反 ,流量减小时 ,水中离子浓度有增大的趋势。现以母猪洞为例加以说明(图 3)。从 1988 ~ 2001 年间 ,1991、1992 年降雨量大 ,为丰水年 ,矿化度、总硬度、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等各种离子的浓度含量较低 ,其中矿化度变化范围在 240 ~ 250 mg/L ,总硬度变化范围在 4.4 ~ 4.6 mg/L , $\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 变化范围在 30 ~ 60 mg/L , $\rho(\text{Mg}^{2+})$ 变化范围在 18 ~ 20 mg/L , $\rho(\text{Ca}^{2+})$ 变化范围在 59 ~ 61 mg/L。1989、1990、1994、1998 年的年降水量小 ,为枯水年 ,矿化度、总硬度、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等各种离子的质量浓度较高 ,其中矿化度的变化范围在 260 ~ 290 mg/L ,总硬度的变化范围在 4.8 ~ 8.6 mg/L , $\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 变化范围在 70 ~ 90 mg/L , $\rho(\text{Mg}^{2+})$ 变化范围在 21 ~ 24 mg/L。其余年为平水年 ,在平水年 ,矿化度、总硬度、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 各种离子的质量浓度介于两者之间。

2000 年和 2001 年 ,水体中的 SO_4^{2-} 、总硬度、矿化度的变化并没有表现出应有的降雨量增大 , SO_4^{2-} 、总硬度、矿化度减小的规律 ,这可能与大气受到一定的污染 ,大气中 SO_2 增加和人类活动有关。2000 年由于“西电东输”工程 ,空气中 SO_2 增加 ,2001 年贵州省加大了对火电项目的环保建设力度 ,全省环境质量得到明显改善 , SO_2 的浓度降低。

3.1.2 水化学成分年内分布特征

在各典型年内离子的季节变化亦与降雨量的季节分配相关 ,以母猪洞 1998 年为例 ,同一典型年内 5 ~ 9 月为农灌季节 ,降雨量及径流量大 ,矿化度、总硬度、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等离子含量小 ,其中矿化度变化范围在 210 ~ 230 mg/L ,总硬度变化范围在 3.6

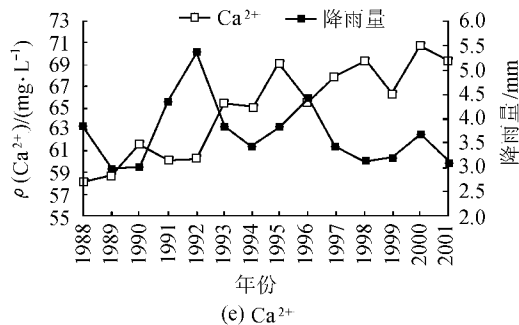
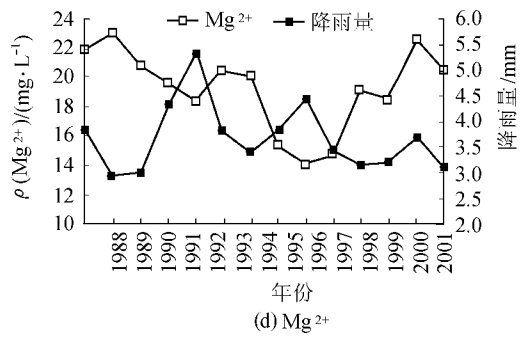
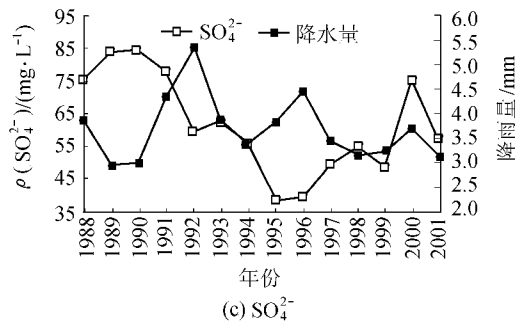
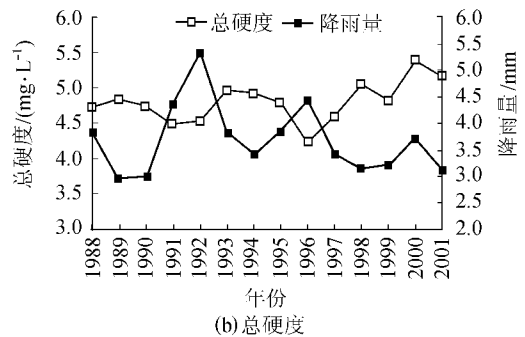
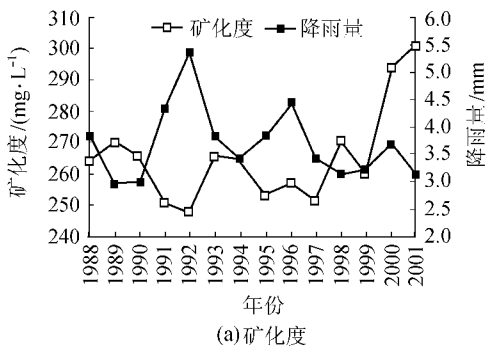


图3 各种水化学成分随降雨量的年间变化

~4.8 mg/L, $\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 变化范围在 20 ~ 33 mg/L, $\rho(\text{Mg}^{2+})$ 变化范围在 12 ~ 17 mg/L, $\rho(\text{Ca}^{2+})$ 变化范围在 54 ~ 72 mg/L, 每年 10 月至次年 4 月为非农灌季节, 降雨量及径流量小, 离子含量高, 其中矿化度变化范围在 230 ~ 330 mg/L, 总硬度变化范围在 4.8 ~ 6.2 mg/L, $\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 变化范围在 33 ~ 97 mg/L, $\rho(\text{Mg}^{2+})$ 变化范围在 17 ~ 30 mg/L, $\rho(\text{Ca}^{2+})$ 变化范围在 72 ~ 80 mg/L, 见图 4 所示。

通过对本研究区 16 个站点 pH 值分析表明(母猪洞为例), 本区域水体中的 pH 值变化为 5.40 ~ 8.90, 平均值为 7.6, 具有弱碱性特征; 从秋季末期的 11 月份到次年春季初期的 4 月份, 此地区水体中的 pH 值较大, 一般大于 7.5; 从春季末期的 5 月份到秋季的 10 月份, 本地区水体中的 pH 值较低, 一般小于 7.3, 见图 4(f)。pH 值最大值一般出现在 1 ~ 3 月份, 最小值出现在 7 ~ 8 月份, 变化的趋势是从 1 月到 5 月份 pH 值基本呈逐渐减小的趋势, 从 9 月份到 12 月份 pH 值则逐渐升高。

离子浓度呈现上述的时间分布主要是因为大气降水以其自身所含的化学成分作为背景值直接补给

岩溶水, 其成分直接影响到地下水的化学成分, 二是大气降水改变了岩溶水的水动力条件, 从而影响到岩溶水的水化学成分^[2]。

3.2 水化学空间分布特征及其原因分析

本文选用了 12 个水样, 11 个指标构成样本集, 取样点位置见图 1。通过资料准备(数据标准化、主成分分析)和模糊聚类的反复计算, 获得如图 5 的分类结果。

从图 5 中可以看出, 12 个样本将分为三类, 其中母猪洞为一类, 代表上游地区; 冒水洞、茅坑、自来水井为一类, 代表下游地区; 老黑潭、盐水井、大新井、三间房、陈家庄、六谷和陈山老坟、平山为一类代表中游地区。

上游锥状喀斯特峰丛洼地片区, 面积 2632 hm^2 , 占流域总面积的 22.64%, 土地结构见表 1。本片区岩溶发育, 水土流失严重, 土层瘠薄, 裸岩面积大, 水源以大气降水为主, 地下水埋藏较深, 利用困难。中游峰林谷地片区, 面积 2400 hm^2 , 占流域总面积的 29.77%。本片区地势相对平坦, 土层较深, 土壤肥沃, 基本为连片的水稻田坝子, 且水源条件优越。本

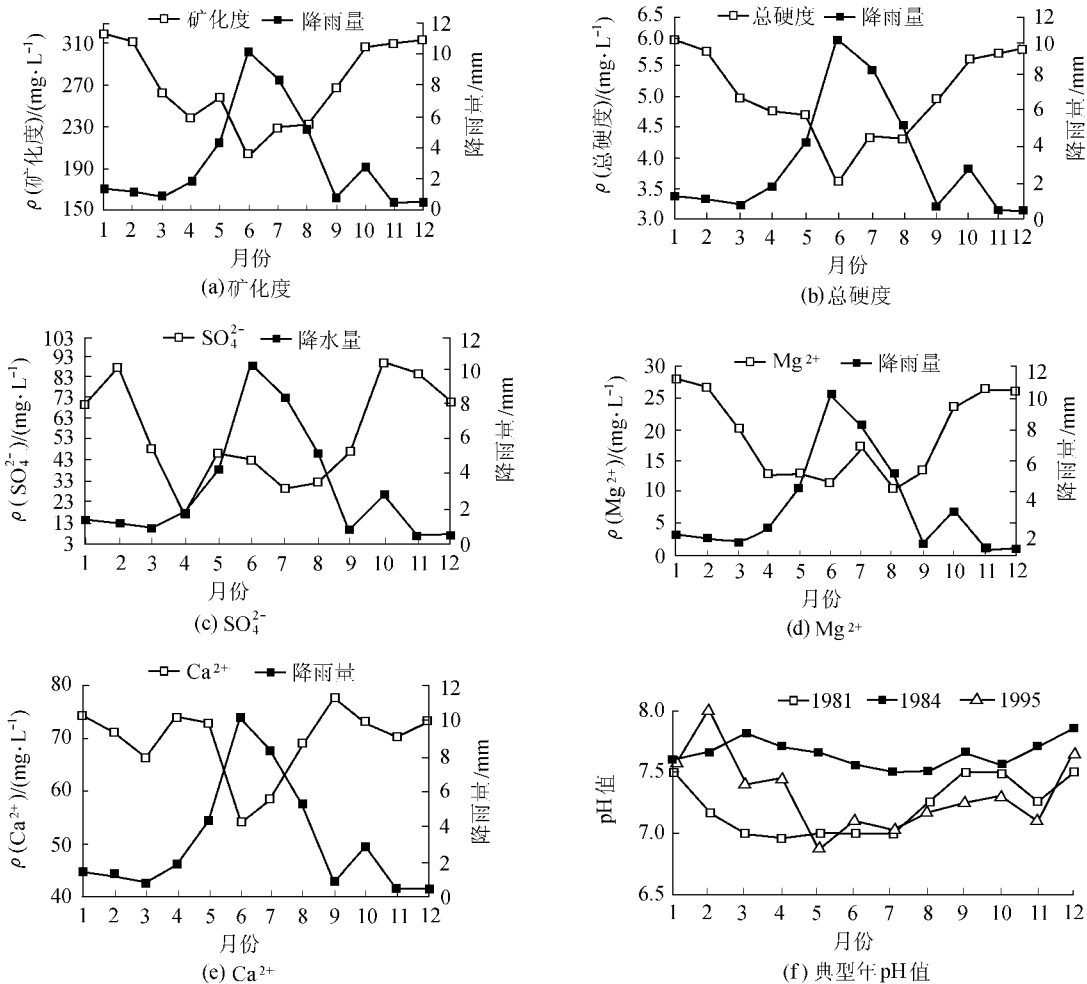


图 4 各种水化学成分随降雨量的年内变化

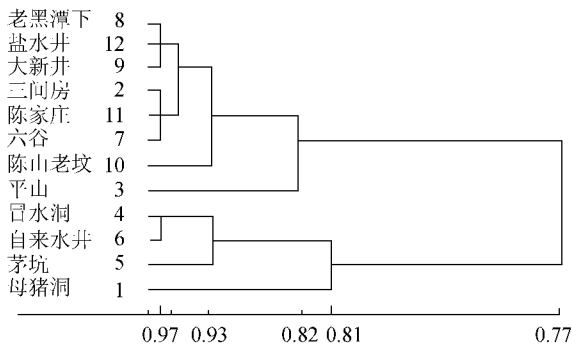


图 5 模糊聚类分析谱系

区地下水埋藏不深,一般在 10 m 以内,裸岩面积相对比重最小。

下游黄土覆盖的丘陵、盆地片区,面积 3032 hm^2 ,占流域总面积的 37.6%。本片区为低矮的波状起伏的丘陵地带,有较厚的黄土层覆盖,土壤肥力较差,基本为连片的黄土地,旱耕地较为集中,地表有青山水库,水源丰沛。

根据上述分类结果,以母猪洞(上游补给区)、六谷(中游径流区)和冒水洞(下游排泄区)的多年平均水化学资料为例(表 2),对各指标进行分析,结果表明:

表 1 后寨流域土地空间结构分布

项目	上游峰丛、洼地片区			中游峰丛、谷地片区			下游丘陵盆地、谷地片区		
	面积/ hm^2	占片区/%	占流域/%	面积/ hm^2	占片区/%	占流域/%	面积/ hm^2	占片区/%	占流域/%
水稻田	178.1	6.77	2.21	678.0	28.24	8.41	256.0	8.44	3.17
旱耕地	154.3	5.86	1.91	98.7	4.11	1.22	286.9	9.46	3.56
林地	249.0	9.46	3.09	175.7	7.32	2.18	269.9	8.90	3.35
灌丛牧地	430.6	41.69	13.61	754.5	31.43	9.36	1398.0	46.10	17.33
水域	4.0	0.15	0.05	34.3	1.43	0.43	42.7	1.41	0.53
村寨占地	17.7	0.67	0.22	57.5	2.40	0.71	24.4	0.80	0.30
公路占地	10.3	0.39	0.13	18.5	0.77	0.23	17.8	0.59	0.22
裸岩	921.2	35.00	11.42	583.3	24.30	7.23	736.6	24.30	9.13
合计	2632.0	100.00	32.64	2401.0	100.00	29.77	3032.0	100.00	37.59

表 2 流域主要站点离子质量浓度

mg/L

月份	母猪洞				六谷				冒水洞			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
1	70.60	22.89	6.06	70.56	61.77	22.93	6.48	59.20	81.33	22.98	12.29	87.80
2	68.90	22.91	6.26	65.99	60.85	23.13	6.40	60.61	78.51	22.86	9.54	79.90
3	67.28	20.22	6.04	59.49	59.52	21.06	6.23	49.60	77.32	20.27	10.04	75.30
4	67.07	19.19	6.49	60.87	65.27	23.12	6.81	51.28	97.43	22.56	10.09	146.72
5	66.71	16.33	5.84	62.88	61.30	22.68	6.79	58.29	112.00	22.36	9.13	191.90
6	54.74	14.78	5.76	45.25	56.78	16.30	6.36	44.28	60.85	15.52	11.22	61.32
7	57.14	13.03	5.91	38.01	50.27	16.06	6.21	33.61	63.46	15.10	7.23	46.03
8	63.76	14.92	5.72	42.03	53.54	20.93	6.59	39.74	67.53	19.16	7.02	55.65
9	67.10	17.26	6.34	48.52	53.77	20.06	6.40	38.41	69.55	16.31	6.49	52.24
10	64.90	17.51	6.14	50.58	58.33	22.43	6.56	50.68	71.70	18.28	7.60	54.85
11	68.12	20.47	6.47	62.27	63.52	23.28	6.52	63.82	73.97	21.10	8.60	64.60
12	70.55	21.38	6.23	63.56	63.77	23.85	6.46	62.42	75.51	21.43	7.88	65.39

a. Ca²⁺ 质量浓度为六谷大于母猪洞大于冒水洞站点。Ca²⁺ 主要是通过岩石的溶解而进入河水中,中游六谷为峰林谷地片区,地势相对平坦,土层较深,因而降雨在本片区的溶解时间长,而且六谷地区人类活动较多,因而 Ca²⁺ 浓度大。Ca²⁺ 浓度一般是从补给区到排泄区不断增加,即随着径流距离的增加而增加。因而六谷地区的 Ca²⁺ 浓度高于猪母洞,而且在雨量大的季节尤为突出。

b. Mg²⁺ 质量浓度为冒水洞大于六谷大于母猪洞站点,可能与岩性有关,冒水洞处的岩石主要为白云岩,在白云岩中 CaO 百分含量降低,但 MgO 百分含量增加,因而白云岩中贮存的水中 Mg²⁺ 浓度增加。

c. Cl⁻ 质量浓度为六谷大于冒水洞大于母猪洞站点。一般规律是,从补给到排泄区,Cl⁻ 浓度应该降低,因而,母猪洞大于六谷大于冒水洞。但六谷位于流域中游,土层较深,土壤肥沃,基本为连片的水稻田坝子,因此人类活动频繁,水稻田连片导致施肥用的农药增加,从而使六谷地区的 Cl⁻ 浓度比其他两个地区高,而冒水洞同样比母猪洞地区农业活动多,因此冒水洞地区的 Cl⁻ 浓度比母猪洞地区高。

d. SO₄²⁻ 质量浓度在六谷地区明显大于其他两个地区,而其他两个地区没有很好的规律性。关键是六谷地区位于中游,人类活动较其他两个地区大,且六谷地区水稻田多,农业活动多,大气中的 SO₂ 排放比其他两个地区多,SO₂ 随着降雨以酸雨的形式进入河水中,从而使六谷地区河水中的 SO₄²⁻ 浓度比其他两个地区明显增多。

e. 后寨地下河母猪洞具管道流性质,而陈家庄、冒水坑具有裂隙流和管道流混合性质,中游的老黑潭则具有更多的裂隙流成分,且表现出有各自相对独立的集水系统,并不完全是上、下游关系。母猪洞是明显的管道流响应曲线,各离子浓度上升和下降均较迅速,六谷则脉冲曲线上升段较快,下降段有

明显的拐点和较和缓的下降坡度,所以是隙-管流的混合流性质的反映,老黑潭更多的是裂隙流占主导的动态曲线,曲线衰减拐点不明显^[3]。

f. Ca²⁺/Mg²⁺ 的摩尔比值大小及变化可表征喀斯特水地层的岩石性质和地下水的形成过程^[4]。其中冒水洞和茅坑地下水 Ca²⁺/Mg²⁺ 摩尔比的多年平均值分别为 2.71 和 2.26,它们的岩性 T_{2g}³,以白云岩为主,是泥质白云岩或灰质白云岩,主要指三叠系的某些组段,CaO 的含量明显下降,MgO 含量明显增加,较均一的裂隙含水介质,发育小型溶孔,溶洞,而母猪洞,老黑潭地下水的 Ca²⁺/Mg²⁺ 摩尔比多年平均值分别为 3.34 和 3.52,它们的岩性为 T_{2g}²,以灰岩为主,是质纯石灰岩,白云质灰岩,极不均匀的集中性裂隙-管道含水介质,白云岩为相对隔水层。由此可见,白云岩中地下水 Ca²⁺/Mg²⁺ 摩尔比值一般较小,但灰岩中地下水 Ca²⁺/Mg²⁺ 摩尔比值较大。分析地下径流途径上 Ca²⁺/Mg²⁺ 摩尔比的变化,可以推断沿途的地层岩性^[5]以及该区域的水化学类型^[5]。

4 结 论

通过研究,得出如下结论:

a. 区域岩溶水化学组成特点是阴离子以 HCO₃⁻ 占优势,阳离子以 Ca²⁺ 为主,离子含量顺序为:HCO₃⁻ 大于 SO₄²⁻ 大于 Cl⁻,Ca²⁺ 大于 Mg²⁺ 大于 Na⁺ + K⁺。

b. 矿化度、总硬度、SO₄²⁻、Mg²⁺、Ca²⁺ 在丰水年的质量浓度较低,在枯水年含量较高,平水年含量处于丰水年和枯水年之间。同时水化学特征有明显的季节变化规律,降水少的季节离子含量高,随着降雨量的增加,离子浓度递减。

c. 后寨流域水中 Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 浓度在母猪洞(上游)、六谷(中游)和(下转第10页)

靠近排污口受污染物排放影响 ,潮水对其稀释作用明显 ,而对照点的水质受污染物影响较小 ,潮水对其稀释作用不明显。

3 结论与建议

通过分析 ,得出以下结论 :

- a. 湿地在丰水期 ,其日周期为每天 2 次涨落。最大落差为 1.59 m。
 - b. 北固山湿地在丰水期 ,其潮水水位的变化对其水质影响明显 ,靠近排污口的 1# 点在低潮时的各项指标总氮、总磷和氨氮分别是高潮时的 2 倍、3 倍和 2 倍 ,2# 点的总氮、总磷和氨氮在低潮时的值分别是高潮时的 1.5 倍、2 倍和 1.5 倍 ;其余各点各指标在低潮时的均值高于高潮时的值。
 - c. 由相关性分析和方差分析得出 ,湿地潮水水位的变化对靠近排污口的 1#、2# 点污染物稀释效果极其显著 ,对远离排污口的各对照点水质影响不明显。
 - d. 随着采样点离排污口距离的增加 ,其水质各项指标值显著下降 ,水质明显变好 ,说明北固山湿地对污染物去除效果显著。这是潮水物理化学及湿地土壤、植物和生物综合作用的结果。
- 由上述分析可知 ,随着潮水水位的上升 ,尽管湿地水质的各项指标值显著降低 ,但排污口向湿地和长江排出的污染物总量并未减少 ,主要表现为污染物的浓度被稀释 ,因此 ,必须采取一定的措施 ,对排污口的污水进行预处理 ,减少污染物的排放总量 ,以便对后期的湿地修复提供较好的外部环境 ,使之有

利于湿地优势植物的生长 ,从而在水质改善的基础上 ,对湿地进行生态修复。

参考文献 :

[1] JURMU M C. A morphological comparison of narrow , lowgradient streams traversing wetland environments to alluvial stream[J]. Environment Management ,2002 ,30(6):831-856.

[2] KENT D M. Evaluating wetland functions and values[C]// KENT D M. Applied Wetland Science and Technology. 2nd ed. New York :Lewis Publishers ,2000 :55-80.

[3] 邓伟 ,胡金明. 湿地水文学研究进展及科学前沿问题 [J]. 湿地科学 ,2003 ,1(1):12-20.

[4] 吴沿友 ,郝建朝 ,李萍萍 ,等. 北固山湿地土壤金属元素空间分布与变化[J]. 江苏大学学报 ,2005 ,26(4):340-344.

[5] 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]. 北京 :中国环境科学出版社 ,2002 :243-281.

[6] 庄楚强 ,吴亚森. 应用数理统计基础[M]. 广州 :华南理工大学出版社 ,2000 :301-324 ,383-406.

[7] 苏金明. 统计软件 SPSS 系列应用实战篇[M]. 北京 :电子工业出版社 ,2003 :236-278.

[8] 何池全 ,赵魁义. 毛茛苔湿地营养元素的积累、分配及生物循环特征[J]. 生态学报 ,2001 ,21(12):2074-2080.

[9] 丁峰元. 长江口滨海湿地氮、磷循环及污染净化初步研究[D]. 上海 :上海师范大学 ,2005 :73-75.

[10] JRGENSEN L A. The cycling of nitrogen in the Danish agricultural sector and the loss to the environmen[J]. Water Science Technology ,1999 ,39(3):15-23.

(收稿日期 2006-02-28 编辑 徐 娟)

(上接第 5 页)

冒水洞(下游)三个代表区的变化趋势与土地利用 ,植被覆盖和人类活动有密切关系 ,反映了以上离子的空间分布特征。

d. 由于钙镁离子含量不同 , Ca^{2+}/Mg^{2+} 摩尔比值也有较大的变化 ,灰岩中地下水的 Ca^{2+}/Mg^{2+} 摩尔比值大于 3 ,白云岩小于 3 , Ca^{2+}/Mg^{2+} 摩尔比值的大小取决于岩石化学成分 ,随着灰岩纯度增高而增大。

参考文献 :

[1] 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) 35-36.

[2] 袁道先. 中国岩溶动力系统[M]. 北京 :地质出版社 ,2002 :39-162.

[3] 杨德明. 喀斯特流域水文地貌系统[M]. 北京 :地质出版社 ,1998 :50-74.

[4] 俞锦标 ,杨立铮 ,章海生 ,等. 中国喀斯特发育规律典型研究——贵州普定南部地区喀斯特水资源评价及其开发利用[M]. 北京 :科学出版社 ,1990 :152-165.

[5] Nives stambuk-giljanovi ,Drago stambuk. Information subsystem of the Ca/Mg ratio as a database for studying its influence on human health[J]. Journal of Medical Systems ,2005 ,29(6):581-588.

(收稿日期 2006-06-23 编辑 高渭文)