

文章编号: 0379-1726(2004)02-0165-06

碳同位素和水化学在示踪贵阳地下水碳的生物地球化学循环及污染中的应用

李思亮^{1,2}, 刘丛强¹, 陶发祥¹, 郎赞超^{1,2}, 韩贵琳¹

(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 100039)

摘要: 地下水污染影响碳的生物地球化学循环, 碳的演化也能够反映地下水的污染状况。对贵阳城区地下水的水化学、溶解无机碳含量及其碳同位素进行了分析。研究表明, 地下水化学以 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型和 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型为主, 化学组分分析结果表明, 水化学特征主要受岩性控制。地下水中溶解无机碳表现形式主要为 HCO_3^- , 丰水期由于稀释作用其含量减少。而丰水期 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 较枯水期偏负, 生物成因无机碳占比重大。结合碳同位素和 NO_3^- 等人为活动输入物质的负相关性尝试对城区地下水污染分区, 结论为贵阳市区中部、东北部以及西郊农业区地下水受污染较为严重。

关键词: 碳同位素; 溶解无机碳(DIC); 地下水; 污染; 贵州省

中图分类号: P593; X142 **文献标识码:** A

0 引言

水体中溶解无机碳(dissolved inorganic carbon; DIC)含量和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 变化反映了碳的地球化学行为和生物地球化学循环特征^[1-5]。地下水中的 DIC 主要受水岩反应、土壤 CO_2 的溶解、有机质降解以及 CO_2 在水-气间的交换共同控制。在岩溶地区, 岩溶作用强烈, 降水下渗经过表层土壤和包气带到达含水层溶蚀基岩, DIC 含量和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 发生相应改变。贵阳盆地脆弱的岩溶地质环境, 在各种人为活动作用下, 地下水水质随时间逐渐恶化^[6], 污染逐年严重。农业活动使地下水受到污染, 而城市生活污水对地下水的污染也非常严重。地下水污染引起地下水生态变化, 同时改变碳的生物地球化学循环及碳同位素组成^[7]。本项研究工作作为我们对贵阳城市地下水污染系统研究的部分工作, 主要是利用无机碳含量、碳同位素组成以及水化学组成的变化来探讨地下水中碳的演化、地下水污染状况以及相互联系, 其目的是为地下水资源及其环境保护提供相关的科学依据。

1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部的一个岩溶谷盆中, 在长江和珠江分水岭附近, 海拔 1 000 ~ 1 300 m, 年平均气温 16 °C, 降雨量 1 200 mm 左右, 相对湿度较大。同时贵阳盆地也处于新华夏和南北向为主的两大构造体系交接部位, 岩溶地层十分发育, 含丰富地下水, 其地下水主要由大气降水补给。二叠系、三叠系碳酸盐岩在该区分布广泛, 占全区面积的 70% 以上, 岩性主要为白云岩和灰岩, 部分含有石膏层。南明河是贵阳市境内最大的河流, 全长 111 km, 集水面积 1 433 km², 为该地区地下水排泄基准面, 呈 SW—NE 向横贯区内^[8]。在市区, 有部分工业废水及生活污水直接排入南明河。

2 采样和分析

2002 年 1 月和 8 月分别在贵阳市地下水监测点(图 1)采集水样, 并采集部分地表水作比较。用便携式仪器现场测定 pH、水温(*t*)和电导(EC), 用

收稿日期: 2003-02-25; 接受日期: 2003-10-23

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-105); 国家自然科学基金(40273010)

作者简介: 李思亮(1978-), 男, 博士, 从事同位素地球化学和微生物地球化学研究。E-mail: siliangli@mail.gyig.ac.cn

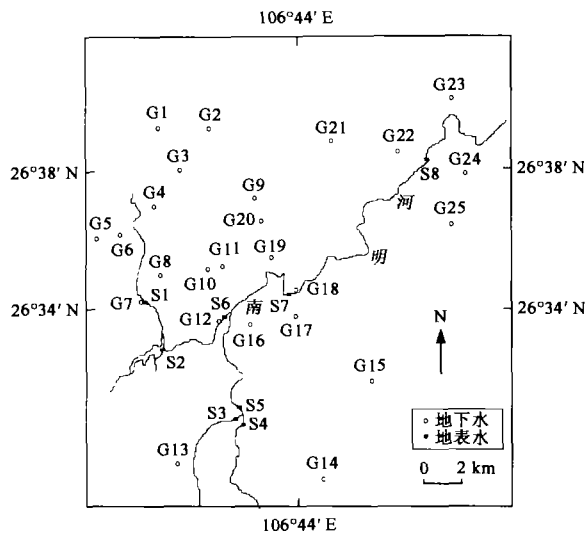


图1 研究区位置及采样点分布

Fig. 1 Map showing the location of Guiyang City and the sampling sites

HCl 滴定法分析水样碱度(ALK)。过滤水样分装,在用于测定阳离子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+)的水样中加入超纯 HCl 酸化至 $\text{pH} < 2$, 测定阴离子(SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 NO_3^-)的样品不作处理,皆密封保存,分别用原子吸收光谱(AAS)和高效液相色谱(HPLC)测定。另用针头式过滤器过滤 100 mL 滤液于聚乙烯瓶中,加入 HgCl_2 毒化抑制微生物活动,不留气泡,用封口胶(Parafilm 膜)密封后盖紧,用来测定 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 。

按照 Atekwana *et al.* 的方法^[9],在实验室测定 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 。具体步骤如下:将带回的水样注入已抽好真空并放有浓磷酸和小磁棒的玻璃瓶中,水浴 50°C 加热,在本实验室建立的高真空线萃取,通过冷阱分离,收集纯的 CO_2 气体,测定其气压,获得 DIC 含量,再用 MAT-252 质谱仪测定 $\delta^{13}\text{C}$ 值。测定的 $\delta^{13}\text{C}$ 值用千分比单位(‰),以 δ 符号来表示,并与国际标准 PDB 相对应:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = [(R_{\text{样品}} - R_{\text{PDB}}) / R_{\text{PDB}}] \times 1000$$

DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的分析误差分别小于 1% 和 0.1‰。

3 结果与讨论

3.1 地下水化学特征

地下水的 pH 值变化范围为 6.0~8.0, 平均为 7.4, 比地表水低。这是由于土壤带的二氧化碳分压 [$p(\text{CO}_2)$] 较高, 经土壤带向下潜移的地下水溶解土

壤 CO_2 , $p(\text{CO}_2)$ 随着升高, 一方面加速碳酸盐的侵蚀, 另一方面也控制着 pH 的变化。由于 $\text{pH} < 8.0$, 所以碱度主要为 HCO_3^- 。冬季地下水的温度明显高于地表水, 而夏季刚好相反。

地下水阳离子组成以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主, 阴离子则以 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 占优势。根据化学计量平衡分析, 贵阳城区地下水类型主要为 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型, 部分为 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型。地下水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 浓度一般高于地表水, 表明溶蚀作用强烈。丰水期 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 平均含量大都相对低于枯水期, 具有明显的稀释效应。但不同样品有一定差异, 这可能是由于不同条件下对大量降水响应程度的不一致造成的^[10]。而同一样品 NO_3^- 等季节性变化不明显, 可能受人为活动影响较大。

3.2 DIC 和碳同位素的转化和演化

3.2.1 碳的转化

贵阳城区地下水 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的分析结果列于表 1。由表 1 可见, 枯水期 DIC 含量为 3.10~6.71 mmol/L, 平均为 4.86 mmol/L。丰水期 DIC 含量在 1.83~5.84 mmol/L 范围内, 平均 4.22 mmol/L。丰水期的 DIC 含量明显低于枯水期, 这可能是由于大量降水的稀释作用引起的。研究区 5~10 月降雨频繁, 这种稀释作用是存在的^[11]。岩溶地区由于独特的生态脆弱性和敏感性, 三水(雨水、地表水和地下水)转换迅速, 但地下水滞留时间短, 溶蚀率一般较低。然而丰水期交换量大, 总溶蚀量较大。对 $\delta^{13}\text{C}$ 和 DIC 进行线性相关分析, 获得枯水期和丰水期的 R^2 , 分别为 0.08 和 0.05, 即二者之间无显著相关性(图 2), 同 Cane *et al.* 的结果相似^[12]。地下水碳同位素在丰水期一般比在枯水期更富集 ^{12}C , 表明丰水期地下水中生物成因无机碳贡献增加。

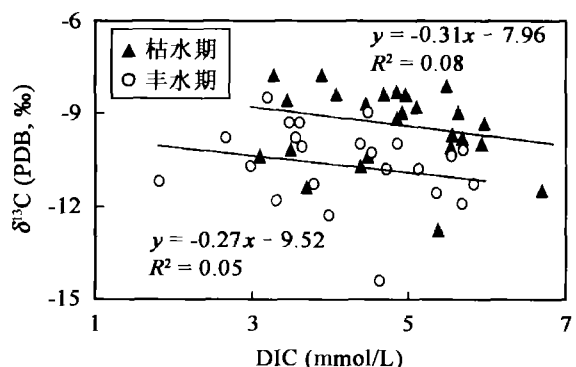
图2 $\delta^{13}\text{C}$ 与 DIC 间的季节性变化Fig. 2 Seasonal relationship between $\delta^{13}\text{C}$ and DIC

表 1 贵阳城区地下水 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布和变化Table 1 Distribution and change of DIC and $\delta^{13}\text{C}$ in the ground water in Guiyang City

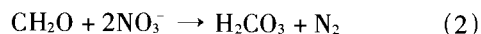
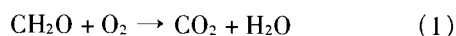
样号	DIC (mmol/L)		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		样号	DIC (mmol/L)		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	
	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期		枯水期	丰水期	枯水期	丰水期
G1	4.92	3.62	-9.0	-9.3	G14	4.85	4.72	-9.2	-10.8
G2	3.90	4.54	-7.8	-10.3	G15	5.10	3.48	-8.8	-9.3
G3	4.85	4.38	-8.3	-10.0	G16	5.53	5.13	-10.1	-10.8
G4	5.49	4.49	-8.1	-9.0	G17	5.64	5.35	-9.0	-11.6
G5	3.70	nd	-11.4	nd	G18	5.93	5.84	-10.0	-11.3
G6	4.68	nd	-8.4	nd	G19	5.68	5.68	-9.8	-11.9
G7	4.38	3.79	-10.7	-11.3	G20	5.38	4.64	-12.8	-14.4
G8	3.10	2.99	-10.4	-10.7	G21	5.97	5.70	-9.3	-10.2
G9	4.49	3.99	-10.4	-12.3	G22	6.71	3.31	-11.5	-11.8
G10	3.28	3.21	-7.8	-8.5	G23	4.45	3.56	-8.7	-9.8
G11	4.96	4.86	-8.4	-10.0	G24	3.50	1.83	-10.2	-11.2
G12	4.08	3.64	-8.4	-10.1	G25	3.45	2.68	-8.6	-9.8
G13	5.56	5.55	-9.7	-10.4					

注: “nd”表示未测定; G8 为轮胎厂污水; G22 为肉联厂污染水。

3.2.2 地下水中无机碳的来源探讨

地下水中无机碳的来源除空气中的 CO_2 被地表水吸收后渗入地下水外, 主要是土壤包气带中的大量有机质成分腐烂分解及植物根系所产生的 CO_2 进入地下水体系, 大量的 CO_2 与水作用形成了碳酸 (H_2CO_3)。碳酸与碳酸盐矿物相互作用, 进一步形成重碳酸根离子。植物根系分泌的有机酸也能溶蚀基岩产生 CO_2 , 同时研究区是我国典型的酸雨区, 降水 pH 值低, 含较高的硫酸根^[13, 14], 这也会促进碳酸盐岩的溶解而增加无机碳。结合研究区的水文地质背景, 地下水中无机碳的来源可用下面几个方程表示:

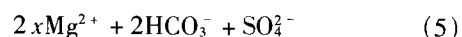
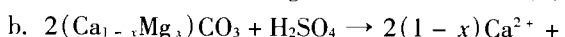
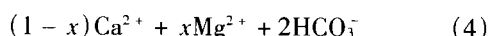
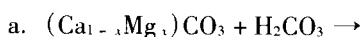
(1) 有机质的氧化:



(2) CO_2 的溶解:



(3) 碳酸盐岩的溶解:



在上述反应过程中, 土壤 CO_2 (主要由土壤植物根系呼吸、微生物作用和有机质降解产生) 的溶解和碳酸盐岩溶解是主要的。

由于不同碳库的 $\delta^{13}\text{C}$ 差别较大, 所以碳同位素能很好地用于示踪地下水中碳的来源和演化^[2]。大

气 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般为 -7‰ , 经计算地下水样中 $p(\text{CO}_2)$ 在 $2.5 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 范围内, 均大于大气中 CO_2 的分压, 由于雨水 pH 低, 几乎没有溶解 CO_2 , 可以不考虑大气的影晌^[15]。研究区郊区植被主要是 C_3 植物, 植物根呼吸生成的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和土壤有机质氧化分解生成的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值基本一致, 大致在 -23‰ 左右^[16]。研究区沉积的碳酸盐岩皆为海相碳酸盐岩, 各地层略有不同^[17, 18], 一般认为其 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 0‰ 。基于上述分析, 地下水中无机碳的同位素组成变化可用以下方程式表示^[19]:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = \left[\frac{\sum_0^i (mC_i)(\delta^{13}\text{C}_i)}{\sum_0^i (mC_i)} \right] \quad (6)$$

式中: $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 为测定值; mC_i 为某种来源的无机碳含量; $\delta^{13}\text{C}_i$ 为对应的端元 $\delta^{13}\text{C}$ 值。据上式计算, 枯水期地下水约有 $44\% \sim 66\%$ 来源于碳酸盐岩的风化, 而丰水期来源于碳酸盐岩的无机碳约为 $37\% \sim 63\%$ 。

3.3 $\delta^{13}\text{C}$ 在地下水污染研究中的应用

蒸发盐岩溶解向水体输入阴阳离子时, $[\text{Cl}^-]: [\text{Na}^+]$ 应为 $1:1$ 。而贵阳地区地下水中 $[\text{Cl}^-]: [\text{Na}^+]$ 变化范围大, 在 $0.1 \sim 11.6$ 之间, 说明部分地区地下水受人为输入物质影响大。 NO_3^- 主要来源于工业和农业活动排放, 一直受到普遍关注^[20, 21]。在所检测的地下水中, NO_3^- 检出率为 88% , 丰水期检出率高于枯水期。 NO_3^- 的浓度为 $0 \sim 51.8 \text{ mg/L}$, 丰水期

NO₃⁻ 平均浓度高于枯水期。在以碳酸盐岩为主要储水层的地下水体中, Na⁺ 和 K⁺ 的来源也受到人为活动的较大影响。地下水样品的 δ¹³C 与 [Cl⁻ + NO₃⁻] 以及 [Na⁺ + K⁺] 呈负相关关系(图3和图4), 说明 δ¹³C 漂移与地下水体系中人为活动输入物质相关。δ¹³C 在枯水期受人为输入物质的影响较丰水期显著, 这可能是受地下水滞留时间控制。人为输入物质复杂, 可能导致地下水生态变化。图3和图4所表示的结果也可说明, δ¹³C 变化受地下水中生物活动影响。如无机氮输入含水层, 可能会增强地下水中微生物的反硝化活动, 微生物活动生成的 CO₂ 将促进碳酸盐岩的溶解^[22], 从而改变 δ¹³C_{DIC}。虽然土壤有机质氧化和植物根系呼吸作用产生的 CO₂ 对地下水贡献大时也会引起 DIC 富集 ¹³C, 但 Cl⁻ 和 Na⁺ 等不会随着增多。因此可以认为人为活动输入物质改变了地下水生态, 而 δ¹³C_{DIC} 可以应用于地下水污染的示踪研究。

根据 δ¹³C、主要水化学特征在空间上的变化分

析, 贵阳市区中部、东北部及西郊农业区地下水受污染较为严重。市区中部由于工业集中以及人口密度大, 工业废水和生活废水下渗引起地下水污染。而东北部新天寨一带畜牧业及相伴随的加工业排污可能是地下水污染的主要来源, 西郊农业区地下水污染主要由农业活动造成的。

4 结论

贵阳城区地下水水化学特征主要受岩性控制, 但人为活动输入物质对地下水的影响也较显著。丰水期溶蚀率低于枯水期, 无机碳含量下降, 但由碳同位素的季节性变化可知, 丰水期生物成因 CO₂ 贡献较大。碳的生物地球化学循环与地下水生态状况密切相连^[7, 15], 碳同位素与特征人为输入物质存在相关性, 可以认为, 碳同位素也可以用来判断人为活动对地下水的污染程度。但由于岩溶生态的特殊性、岩溶系统中水文地球化学变化的复杂性^[23], 以及碳同位素分馏和碳同位素指示作用的局限性, 所以在辨识生态的过程中还需要结合更多的手段、方法才能更好地评估地下水生态的变化。

对贵州省第一水文地质工程地质大队的帮助, 以及周志华硕士、郑厚义硕士及赵志琦博士协助采样及分析表示感谢。

参考文献 (References):

- [1] Wigley T M L, Plummer L N, Pearson F J Jr. Mass transfer and carbon isotope evolution in natural water systems [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1978, 42(8): 1117~1139.
- [2] Fritz P, Fontes J Ch, Frappe S K, et al. The isotope geochemistry of carbon in groundwater at stripa [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1989, 53(8): 1765~1775.
- [3] Aucour A-M, Sheppard S M F, Guyomar O, et al. Use of ¹³C to trace origin and cycling of inorganic carbon in the Rhône river system [J]. *Chem Geol*, 1999, 159(1-4): 87~105.
- [4] Hélié J-F, Hillaire-Marcel C, Rondeau B. Seasonal changes in the sources and fluxes of dissolved inorganic carbon through the St. Lawrence River—Isotopic and chemical constraint [J]. *Chem Geol*, 2002, 186(1-2): 117~138.
- [5] 刘再华, 袁道先, 何师意, 等. 四川黄龙沟景区钙华的起源和形成机理研究 [J]. *地球化学*, 2003, 32(1): 1~10.
Liu Zai-hua, Yuan Dao-xian, He Shi-yi, et al. Origin and forming mechanisms of travertine at Huanglong Ravine of Sichuan [J]. *Geochimica*, 2003, 32(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- [6] 曹卫锋. 贵阳市 2000~2030 年地下水资源及环境地质问题

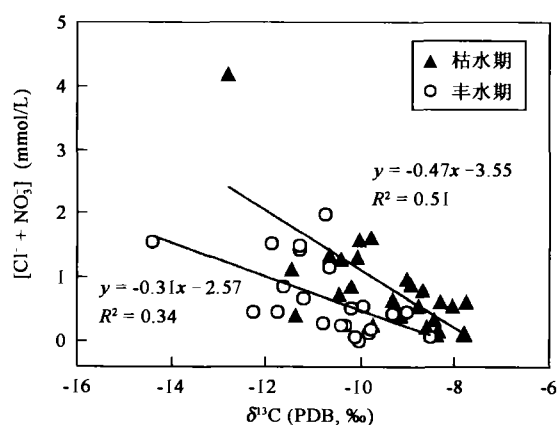


图3 [Cl⁻ + NO₃⁻] 与 δ¹³C 的相关性

Fig. 3 Relationship between [Cl⁻ + NO₃⁻] and δ¹³C

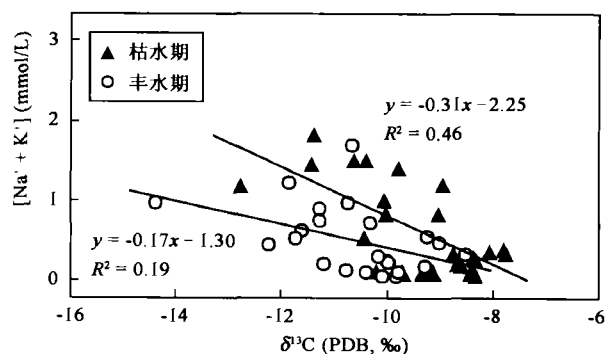


图4 [Na⁺ + K⁺] 与 δ¹³C 的相关性

Fig. 4 Relationship between [Na⁺ + K⁺] and δ¹³C

- 预测分析[J]. 贵州地质, 1998, 15(4): 368~376.
- Cao Wei-feng. A prediction for groundwater supplies and environmental geological issues of 2000~2030 in Guiyang city [J]. Guizhou Geol, 1998, 15(4): 368~376 (in Chinese with English abstract).
- [7] Fang J S, Barcelona M J, Krishnamurthy R V, *et al.* Stable carbon isotope biogeochemistry of a shallow sand aquifer contaminated with fuel hydrocarbons [J]. Appl Geochem, 2000, 15(2): 169~181.
- [8] 韩至均, 金占省. 贵州省水文地质志[M]. 北京: 地震出版社, 1996. 1~42.
- Han Zhi-jun, Jin Zhan-sheng. Hydrogeology of Guizhou Province [M]. Beijing: Seismological Press, 1996. 1~42 (in Chinese).
- [9] Atekwana E A, Krishnamurthy R V. Seasonal variations of dissolved inorganic carbon and $\delta^{13}\text{C}$ of surface waters: Application of a modified gas evolution technique [J]. J Hydrol, 1998, 205(3~4): 265~278.
- [10] Desmarais K, Rojstaczer S. Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms [J]. J Hydrol, 2002, 260(1~4): 118~134.
- [11] 刘再华, 袁道先. 中国典型表层岩溶系统的地球化学动态特征及其环境意义 [J]. 地质论评, 2000, 46(3): 324~327.
- Liu Zai-hua, Yuan Dao-xian. Features of Geochemical variations in typical epikarst systems of China and their environmental significance [J]. Geol Rev, 2000, 46(3): 324~327 (in Chinese).
- [12] Cane G, Clark I D. Tracing ground water recharge in an agricultural watershed with isotopes [J]. Ground Wat, 1999, 37(1): 133~139.
- [13] 韩贵琳. 喀斯特环境质量变化的自然与人文过程特征——贵州喀斯特河流的地球化学研究[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2002.
- Han Gui-lin. Characterization of natural and anthropogenic processes responsible for karst environmental quality changes—Geochemical study of karst rivers in Guizhou Province [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2002 (in Chinese with English abstract).
- [14] Xiao H Y, Liu C Q. Sources of nitrogen and sulfur in wet deposition at Guiyang, southwest China [J]. Atmos Environ, 2002, 36(33): 5121~5130.
- [15] Grossman E L. Stable carbon isotopes as indicators of microbial activity in aquifers [A]. Hurst C J, Knudson G R, Melnerney M J, *et al.* Manual of Environmental Microbiology [C]. Washington DC: American Society for Microbiology, 1997. 565~576.
- [16] Cerling T E, Solomon D K, Quade J, *et al.* On the isotopic composition of carbon in soil carbon dioxide [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1991, 55(11): 3403~3405.
- [17] 邵龙义, 窦建伟, 张鹏飞. 西南地区晚二叠世氧、碳稳定同位素的古地理意义[J]. 地球化学, 1996, 25(6): 575~581.
- Shao Long-yi, Dou Jian-wei, Zhang Peng-fei. Paleogeographic significances of carbon and oxygen isotopes in Late Permian rocks of Southwest China [J]. Geochimica, 1996, 25(6): 575~581 (in Chinese with English abstract).
- [18] 南君亚, 周德全, 叶健骝, 等. 贵州二叠纪—三叠纪古气候和古海洋环境的地球化学研究[J]. 矿物学报, 1998, 18(2): 239~249.
- Nan Jun-ya, Zhou De-quan, Ye Jian-liu, *et al.* Geochemistry of paleoclimate and paleo-ocean environment during Permian-Triassic in Guizhou Province [J]. Acta Mineral Sinica, 1998, 18(2): 239~249 (in Chinese with English abstract).
- [19] Chapelle F H, Knobel L L. Stable carbon isotopes of HCO_3^- in the Aquia aquifer, Maryland: Evidence for an isotopically heavy source of CO_2 [J]. Ground Wat, 1985, 23(5): 592~599.
- [20] Heaton T H E. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: A review [J]. Chem Geol, 1986, 59(1~4): 87~102.
- [21] Wassenaar L I. Evaluation of the origin and fate of nitrate in the Abbotsford Aquifer using the isotopes of ^{15}N and ^{18}O in NO_3^- [J]. Appl Geochem, 1995, 10: 391~405.
- [22] Nascimento C, Atekwana E A, Krishnamurthy R V. Concentrations and isotope ratios of dissolved inorganic carbon in denitrifying environments [J]. Geophys Res Lett, 1997, 24(12): 1511~1514.
- [23] 潘根兴, 滕永忠. 土壤-灰岩岩溶系统中水文地球化学动力学过程模拟及其意义[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 272~276.
- Pan Gen-xing, Teng Yong-zhong. Kinetics of hydrogeochemistry in assimilated soil-limestone karst system and its implications [J]. Geochimica, 2000, 29(3): 272~276 (in Chinese with English abstract).

Chemical and stable carbon isotopic compositions of the ground waters of Guiyang City, China: Implications for biogeochemical cycle of carbon and contamination

LI Si-liang^{1,2}, LIU Cong-qiang¹, TAO Fa-xiang¹, LANG Yun-chao^{1,2}, HAN Gui-lin¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Variations in concentration and isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) of dissolved inorganic carbon (DIC) reflect the contamination and biogeochemical cycle of the carbon in ground water. With a main purpose to understand the contamination and biogeochemical cycle of the DIC, a research on the geochemistry of the ground waters of Guiyang City is carried out. The results show that the ground waters are mainly characterized by $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ and $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ chemical composition. The hydrochemical characteristics of these types of water are mainly controlled by lithology of the aquifers. The average concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- and SO_4^{2-} in the high-flow season are lower than those in the low-flow season, which shows a dilution process during the wet season by the mixing of infiltrated meteoric water of low solute content with the aquifer ground water. HCO_3^- is the dominant species of the DIC in the ground waters, and has lower concentrations and more negative values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ in high-flow season than low-flow season. This indicates that more DIC has biogeochemical origin in the high-flow season than the low-flow season, and that biological activities are the predominant control on shifts of stable carbon isotope values. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ compositions of the ground waters vary in accordance with change in concentration of human activity-induced species, this indicates that the anthropogenic input into the ground water systems may have an influence on the aquatic ecosystem of the ground water system. In according with spatial distributions of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and the chemistry of the ground waters, it can be concluded that there is a significant amount of contaminants from human activities put especially into the groundwater in center, northeast and western suburb of Guiyang city.

Key words: carbon isotope; dissolved inorganic carbon (DIC); ground water; contamination; Guizhou Province

CLC number: P593; X142

Document code: A