

· 专题 10: 表层地球系统生物地球化学循环及其生态环境效应 ·

## 筑坝拦截对嘉陵江梯级水库群水体碳、硫元素循环的影响

崔高仰<sup>1</sup>, 李晓东<sup>2\*</sup>, 杨周<sup>3</sup>, 李亲凯<sup>1</sup>, 黄俊<sup>1</sup>

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, 贵阳 550081;

2. 天津大学 表层地球系统科学研究院, 天津 300072; 3. 铜仁学院, 贵州 铜仁 554300

河流筑坝对流域内碳、氮、硫等营养元素生物地球化学循环的影响越来越引起人们的重视。为更加清晰的认识 C、S 在梯级水库群影响下的循环转化过程, 选择长江左岸一级支流嘉陵江干流上 4 座代表性梯级水库为研究对象, 于 2016 年 1, 4, 7, 10 月沿流程方向对各水库的入库水、库中分层水、坝前分层水和下泄水进行采样, 并分析其水化学、溶解无机碳 (DIC) 含量,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  及  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  同位素组成。结果表明: ① 研究区水体水化学受碳酸盐平衡体系控制, 以碳酸参与的碳酸盐岩风化为主, 来自于黄铁矿和大气  $\text{SO}_2$  氧化的硫酸也广泛参与了碳酸盐岩风化; 夏季, 亭子口水库出现明显的 T、DO 和 pH 分层, 表现出明显的湖泊化特点, 其他水库则出现物化参数的弱分层或无分层, 河流特征显著。② 夏季, 研究区水体  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  均值  $-10.05\text{‰}$ , 冬季  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  均值  $-7.1\text{‰}$ , 指示研究区 DIC 及其同位素组成除了土壤/大气  $\text{CO}_2$  和碳酸盐岩风化来源外, 更受到水库内部各种作用, 尤其是生物过程的影响。夏季,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  均值  $5.5\text{‰}$ , 冬季  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  均值  $5.1\text{‰}$ , 说明研究区  $\text{SO}_4^{2-}$  体现出黄铁矿氧化和大气输入的端元特征, 此外也受到水库内部, 主要是氧化还原过程中的分馏影响。③ 时间上, 研究区表层水 DIC 浓度和  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度表现出不同变化特点。夏季, 受降水和上游来水的稀释效应影响, 研究区 DIC 浓度 ( $2.395\text{ mmol/L}$ ) 低于冬季 ( $2.782\text{ mmol/L}$ );  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度在夏季 ( $0.419\text{ mmol/L}$ ) 则略高于冬季 ( $0.414\text{ mmol/L}$ ), 指示出夏季降水较多, 更多来自于黄铁矿氧化的  $\text{SO}_4^{2-}$  淋滤汇入到河流的特点。④ 空间上, 研究区表层水 DIC 和  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度出现相似变化特点。夏季, 受到支流汇入的影响, 研究区表层水的 DIC 浓度沿流程方向呈下降趋势; 冬季, 表层水 DIC 浓度则随支流汇入而升高; 水库底层水因有机质分解释放出大量 DIC 导致下泄水 DIC 浓度往往高于库区表层水;  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度在入

库水、库区水和下泄水之间变化不明显; 夏季, 研究区表层水  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度在亭子口、新政和东西关水库间变化不大, 至草街水库明显下降, 受渠江和涪江支流汇入影响显著, 冬季表层水  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度则随支流的汇入而升高。⑤ 剖面上, DIC 浓度和  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  值和  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值均出现相反的变化特点。夏季, 亭子口水库 DIC 浓度随水深而增加,  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度则随水深增加而减少, 下层水缺氧环境引起有机质矿化分解和 DIC 浓度升高, 这一过程优先释放的  $^{12}\text{C}$  导致剩余水体  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  值降低。同时, 厌氧硫化菌对  $\text{SO}_4^{2-}$  的还原导致  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度降低, 这一过程往往使剩余水体的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值偏正。夏季, 亭子口水库  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  值随水深增加而偏负,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值则随水深增加而偏正, 二者均受到 DO 剖面变化的影响。⑥ 根据夏季不同水库的物化参数, DIC 浓度,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  值,  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度及  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值的剖面变化特点, 可将 4 座水库分为 3 种不同类型: 亭子口水库为“湖泊型”, 新政和东西关水库为“过渡型”, 草街水库为“河流型”。⑦ 通过 Pearson 相关分析发现, 夏季, 研究区 DIC 浓度与  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  值呈极显著正相关 ( $R^2 = 0.535, P < 0.01$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度与  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值呈极显著负相关 ( $R^2 = -0.820, P < 0.01$ ); DIC 浓度与  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度 ( $R^2 = 0.673, P < 0.01$ ), DIC 与  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值呈极显著正相关 ( $R^2 = 0.741, P < 0.01$ )。冬季,  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度与  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值呈极显著正相关 ( $R^2 = 0.746, P < 0.01$ ); DIC 浓度与  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度呈极显著正相关 ( $R^2 = 0.408, P < 0.01$ ), DIC 与  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4^{2-}}$  值呈极显著负相关 ( $R^2 = -0.569, P < 0.01$ )。说明水库水体 C、S 元素循环可能受到相同环境因子或相似演化过程制约。经过梯级水库改造, 河流原有水化学性质发生一定程度的改变, 运用 C、S 双同位素示踪这一演化过程具有可行性。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (4137136); 国家重点研发计划重点专项 (2016YFA0601000)

第一作者简介: 崔高仰 (1990-), 男, 博士研究生, 研究方向: 水化学及同位素地球化学。E-mail: cuigaoyang@mail.gyig.ac.cn.

\* 通讯作者简介: 李晓东 (1973-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 环境地球化学。E-mail: xiaodong.li@tju.edu.cn.