

# 洱海流域典型农灌区地下水水文地球化学特征

袁建飞<sup>1,2)</sup>, 顾鸿宇<sup>1)</sup>, 岑鑫雨<sup>1)</sup>, 刘慧中<sup>1)</sup>, 邓国仕<sup>1)</sup>

1) 中国地质调查局成都地质调查中心(西南地质科技创新中心), 成都, 610218;

2) 中国地质科学院, 北京, 100037

**关键词:** 地下水; 氢氧同位素; 水—岩相互作用;  
农灌区; 洱海流域

洱海流域位于澜沧江、金沙江和元江三大水系分水岭地带, 属澜沧江—湄公河水系。近年来, 流域快速城镇化、农村生活方式改变、高强度种植业增加、环湖旅游业“井喷式”无序发展等因素导致洱海流域污染负荷快速增加(张浩霞, 2020)。洱海流域污染主要来源于工业、城镇生活、农村生活、养殖业、农业面源、服务业、水土流失、干湿沉降等(张浩霞, 2020)。其中, 畜禽养殖、农村生活和农田面源为主要的污染来源, 三者排放的污染负荷量占总负荷量的 70%左右。

流域地下水水文地球化学特征受控于地貌、气候、地质条件、水文地质条件以及人类活动等多种因素的影响(陶兰初等, 2023)。通过地下水水化学特征和氢氧同位素组成的分析, 可深入认识区域地下水环境质量的变化趋势, 从而为水环境保护和水资源可持续开发利用提供科学依据(龚亚兵等, 2022)。本研究以洱海流域挖色镇农灌区地下水为研究对象, 通过地下水流场调查、沿地下水径流方向河水、灌溉井和泉点的系统采样, 运用统计学、Piper 三线图、Gibbs 模型、离子比值和数值模拟等方法, 分析了农灌区地下水水化学和氢氧同位素特征, 研究了农灌区地下水化学演化特征及控制因素。

## 1 研究区概况

挖色镇地处大理市东北部, 地势东高西低, 从东向西倾斜, 为高原平坝地形。境内最高点位于狮子山, 海拔 3320.3 m; 最低点位于挖色村, 海拔 1974.6 m。区内属北亚热带高原季风气候, 年平均

气温为 14.9°C, 年平均降雨量 1049.3 mm, 降雨集中在 6~9 月。

挖色镇农灌区主要位于洱海中西部平坝区, 该区出露泥盆系泥灰岩、白云质灰岩和石灰岩、第四系湖积、冲积和洪积松散堆积物, 以及晋宁期花岗岩。根据区域地质背景和地下水赋存状态、径流特征等因素, 可将区内地下水分为碳酸盐岩裂隙溶洞水、基岩裂隙水以及松散岩类孔隙水。区内岩溶水和松散岩类孔隙水较丰富, 岩溶水多引为居民生活用水, 松散岩类孔隙水则作为农业灌溉主要水源。

## 2 样品测试及分析结果

2022 年 10 月于研究区采集包括溪沟水、灌溉井和岩溶泉在内的水样 10 组, 开展水样阴、阳离子和氢氧同位素测试工作。取样要求、样品前处理和测试分析手段与精度参照文献(袁建飞等, 2023)。样品测试分析结果见表 1。

## 3 研究结果及讨论

### 3.1 研究区地下水流场特征及控制因素

分别于 2022 年度 10 月和 2023 年度 9 月, 对挖色镇典型农灌区 34 口灌溉井开展了地下水水位埋深测定工作, 发现研究区北部、西部和东部山前地下水埋深大埋深值分别介于 1.21~3.74 m、1.32~3.70 m 和 1.28~1.74 m。区内文昌宫和康廊村东部区域农业灌溉用水抽取程度较大。

对同一地下水径流方向农业灌溉井进行两次水位统测, 并绘制灌溉井水位高程年际变化图(图 1), 由图可知:

(1) 绝大多数灌溉井 2023 年度较 2022 年度统测水位下降;

注: 本文为中国地质调查局资助项目(编号: DD20211381)的成果。

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2024-02-05; 责任编辑: 潘静。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.s1.086

作者简介: 袁建飞, 男, 1983 年生, 博士, 正高级工程师, 主要从事水文地质和地热地质调查研究工作; Email: jianfeiyuan@163.com。

表 1 研究区水样品的物理化学参数统计表

项目	溪沟水	灌溉井			岩溶泉
		最小值	最大值	平均值	
pH	7.01	6.88	7.40	7.05	6.76
ORP(mv)	52.9	10.7	51.2	34.9	80.2
EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	305	426	662	574	399
$\text{K}^+(\text{mg}/\text{L})$	0.56	0.98	5.88	2.61	1.07
$\text{Na}^+(\text{mg}/\text{L})$	0.43	8.47	20.00	14.92	4.85
$\text{Ca}^{2+}(\text{mg}/\text{L})$	40.60	49.00	94.40	74.92	65.00
$\text{Mg}^{2+}(\text{mg}/\text{L})$	20.60	23.10	31.10	28.01	14.60
$\text{Cl}^-(\text{mg}/\text{L})$	0.57	9.45	19.30	13.91	2.14
$\text{SO}_4^{2-}(\text{mg}/\text{L})$	3.90	21.40	46.20	34.44	7.54
$\text{HCO}_3^-(\text{mg}/\text{L})$	199	199	379	309	252
$\text{NO}_3^-(\text{mg}/\text{L})$	0.55	2.94	55.40	21.17	3.35
$\text{NO}_2^-(\text{mg}/\text{L})$	0.00	0.03	0.48	0.20	0.00
$\delta\text{D}(\text{‰})$	-104.6	-97.00	-82.90	-92.51	-102.3
$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-13.97	-12.63	-10.30	-11.76	-13.28

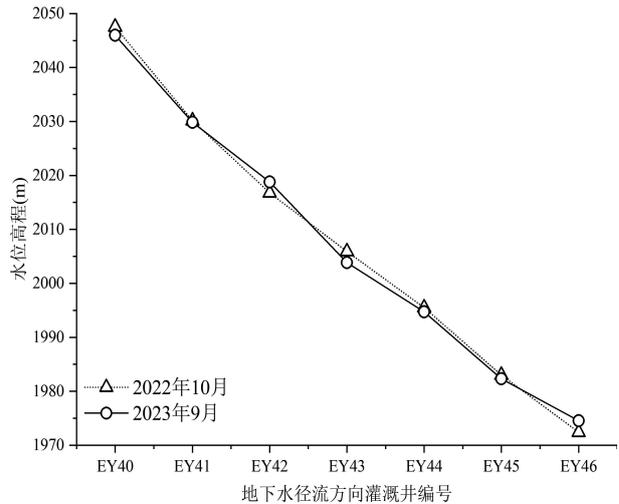


图 1 研究区山前至洱海方向地下水径流方向灌溉井水位高程年际变化

(2) 局部灌溉井出现 2023 年度较 2022 年度水位上涨情况;

(3) 沿地下水径流方向, 灌溉民井水位高程为 2048~1972 m, 呈自山前至洱海逐渐减小的趋势。

影响同一灌溉井水位高程变化的因素是多方面的, 但种植作物更换和灌溉时间差异是关键因素。

### 3.2 研究区地下水水化学组分特征

基于区内水样品测试分析数据, 分析认为: 挖色镇农灌区地下水 pH 平均值为 6.99, 呈中性。阳离子主要以  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  为主, 呈现  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$  的特征, 阴离子主要以  $\text{HCO}_3^-$  为主, 呈现  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$  的特征。区内河水、民井和泉水化学类型均为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$  型。

此外, 沿地下水径流方向, 地下水中 EC 和  $\text{Ca}^{2+}$  具有逐步增大的趋势, 但其他离子组分浓度变化较为复杂, 未呈现规律性变化。

### 3.3 研究区地下水氢氧同位素组成特征

研究区溪沟水和岩溶泉水  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值分别为 -104.6‰和-13.97‰、-102.3‰和-13.28‰。灌溉井水  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值分别介于 -97.00‰~-82.90‰ 和 -12.63‰~-10.30‰, 均值为-92.51‰和-11.76‰。溪沟水、岩溶泉水和灌溉井水样品  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值均位于全球大气降水曲线附近, 但稍微偏离曲线, 揭示水体主要受大气降水补给和一定程度的蒸发作用影响。

### 3.4 控制地下水组分演化的因素及过程

结合区内地质、水文地质条件、水样水化学和氢氧同位素测试结果, 综合分析认为: 研究区地下

水水化学特征受岩石风化溶滤作用、离子交换作用和人类活动的共同影响。地下水中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{HCO}_3^-$  主要类源于硅酸盐岩和碳酸盐岩的风化溶滤,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  则主要来源于农业活动。

研究结果对加强洱海流域农灌区内水环境研究, 支撑流域水生态环境综合治理和水资源科学管理具有重要意义。

### 参 考 文 献 / References

- 龚亚兵, 龚绪龙, 许书刚, 唐鑫, 苏东, 吴夏懿. 2022. 苏南地区地下水水化学特征及演化分析. 地质论评, 68(6): 2207~2218.
- 陶兰初, 寸得欣, 涂春霖, 马一奇, 刘振南, 尹林虎, 和成忠, 庞龙, 张七道. 2023. 珠江源块泽河流域地表水水化学特征及控制因素. 环境科学, 44(1): 6025~6037.
- 袁建飞, 邓国仕, 刘慧中. 2023. 鲜水河断裂带富硼地热水中稀土元素分布特征及其对硼来源的指示意义. 沉积与特提斯地质, 43(2): 428~441.
- 张浩霞. 2020. 1985-2019 年洱海总氮时空变化规律分析. 环境科学导刊, 39(6): 4~10.

YUAN Jianfei, GU Hongyu, CEN Xinyu, LIU Huizhong, DENG Guoshi: Hydrogeochemical characteristics of groundwater in a typical agricultural irrigation area at the Erhai lake basin

Keywords: groundwater; hydrogen and oxygen isotope; water-rock interaction; agricultural irrigation area; Erhai lake basin