

广西典型不同地质背景区水库水化学特征对比分析

黎力菊, 唐湘玲*, 李子威
(桂林理工大学, 广西 桂林 541000)

摘要: 【目的】研究广西典型不同地质背景区水库水化学特征的差异性及其对人类活动的响应。【方法】利用2021年8月广西非岩溶区为主的青狮潭水库和以岩溶区为主的大龙洞水库的水化学测试数据, 采用Piper三线图、相关性分析方法分析了2个典型不同地质背景区的水库水化学特征及影响因素。【结果】典型非岩溶水库的青狮潭水库主要的阴阳离子为 SO_4^{2-} 以及 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , 而大龙洞水库作为典型的岩溶水库, 其水化学类型均为 Ca-HCO_3 型, HCO_3^- 和 Ca^{2+} 是主要的阴阳离子。主要离子呈现一致的空间变化, 水库水体的主要离子浓度整体表现为随着水库深度的加深, 离子浓度逐渐降低, 主要受流量变化的影响。【结论】水库的水化学特征主要源于水库内岩石的矿化溶解。而 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 主要受人类活动以及大气降水的影响, 相较而言, 大龙洞水库受人类活动影响更为显著。最后针对水库中出现的問題, 提出水库水资源保护的建議和措施。

关键词: 水化学特征; 影响因素; 青狮潭水库; 大龙洞水库

中图分类号: P467

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022139

黎力菊, 唐湘玲, 李子威. 广西典型不同地质背景区水库水化学特征对比分析[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 83-89.

LI Liju, TANG Xiangling, LI Ziwei. Comparative Analysis of Hydrochemical Characteristics of Reservoirs with Different Geological Backgrounds in Guangxi[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.1): 83-89.

0 引言

水库是指在山沟或河流的狭口处建造拦河坝形成的人工湖泊^[1]。有时天然湖泊也称为水库(天然水库), 水库是我国防洪广泛采用的工程措施之一。随着我国经济的发展缺水现象将日益严重, 水库供水量日趋增加, 开展我国水库的生态学研究, 改善水库水质有十分重要的意义^[2]。水化学研究是水资源质量评价的重要内容, 其对水资源利用方式、可持续发展、管理方式和生态环境的建设和保护都有重要意义^[3]。国外学者对流域水化学方面进行了大量研究^[4-7], 表明流域水化学主要受气候降水、土壤与地下水的相互作用的影响。国内学者也对流域^[8]、湖泊^[9]、水库^[10]及湿地^[11]等的水化学特性进行了研究, 水化学组成表现出明显的空间异质性^[12], 水化学组成也成为研究近期化学风化作用过程的主要手段^[12]。部分学者^[13-18]对我国长江和小流域河流水化

学组成特征、来源分析和流域化学风化等进行了较为详细的研究。

在我国, 由于人类活动的发展迅速, 水质恶化现象日益严重^[19]。而水质优劣直接影响水库水生资源环境和社会经济发展。20世纪80年代以来, 水库水污染现象日益加重, 对此学者对其进行了大量的研究工作, 主要集中在水资源与水源区生态环境^[19-21]及水质^[22-23]方面, 但对水库区域系统的水化学的研究目前还比较薄弱。本研究运用水化学及统计学方法, 系统分析了青狮潭水库、大龙洞水库两水库水化学特征, 利用水化学基本特征数据, 探讨其水库水化学的垂向变化特征和主要影响因素, 未来为水库水资源可持续生态发展和水资源环境管理保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

青狮潭水库属于典型的非岩溶水库, 位于广西壮族自治区灵川县青狮潭镇, 110°05′—110°25′N, 25°04′—25°05′E。水库水体主要由雨水补给, 受雨水径流影响, 地貌十分发育, 是一个以灌溉为主, 结合供水、发电、防洪、航运、养鱼、旅游等综合利用的大

收稿日期: 2022-03-18

基金项目: 广西自然科学基金项目(2020GXNSFAA297266, 2018GXNSFAA050009); 广西钦州市科学技术局社会事业技术推广项目(20189910)

作者简介: 黎力菊(1996-), 女, 广西来宾人。硕士研究生, 主要研究方向为水文地质与资源环境。E-mail: 651956963@qq.com

通信作者: 唐湘玲。E-mail: 915907173@qq.com

型水库,总库容 6 亿 m^3 ,居广西第 4 位、桂北最大的水库。地处低纬,属于亚热带季风气候,日照充足,年平均温度 $18.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均蒸发量为 $1\,482.5\text{ mm}$ 。多年平均降水量 $1\,725.5\text{ mm}$ 。青狮潭水库大坝填筑于甘棠江的青狮潭峡谷口,甘棠江为山区河流,青狮潭峡谷口以上流域,地形复杂,两岸多为崇山峻岭,高程多数在 $1\,000\text{ m}$ 以上,水源涵养条件良好^[24]。甘棠江流域的地貌类型最主要包括非岩溶地区,非岩溶地区为侵蚀类型的低山和中山,岩土组类型主要是碎屑岩组、不纯碳酸盐组以及火成岩组^[24]。

大龙洞水库位于广西上林县,库区位于 $23^{\circ}30'01''\text{--}23^{\circ}40'08''\text{N}$, $108^{\circ}30'02''\text{--}108^{\circ}36'04''\text{E}$ 。该水库是一个典型岩溶区水库,处于红水河支流清水江上游,在天然喀斯特洼地地貌基础上,通过堵塞岩溶洞穴、消水洞和遮挡边坡岩溶裂隙而形成,水库溢洪道是天然溶洞^[25],地形破碎错综复杂,由峰丛谷地、岩溶漏斗、落水洞等形成。水体流域受构造运动和地下水活动的影响,岩溶地貌十分发育,岩溶峰丛洼地、谷地广泛发育,地貌破碎,几乎无平缓地面^[26]。水库属亚热带季风气候。雨热同期,多年平均气温 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨量 $1\,837.3\text{ mm}$ 。库区位于南北向及北西向 2 组断裂的交汇地带,大龙洞水库水体主要由地下水补给,主要地下水出口附近主要出露的地层为下石灰统岩关阶组(C1y)白云岩、上泥盆统榴江组(D2l)灰岩、中泥盆统东岗岭组(D2d)层状灰岩等^[25]。流域受构造运动和地下水活动的影响,岩溶地貌十分发育,岩溶峰丛洼地、谷地广泛发育,地貌破碎,几乎无平缓地面^[26]。

本研究目的是了解库区水化学特征变化情况并探索影响因素。选点时主要考虑在 2 个水库上、中、下游选取代表性的点及电站出口,为了比较 2 个水库水化学情况。

1.2 样品采集与测试

2021 年 8 月,对位于位于桂林市灵川县的青狮潭水库和南宁市上林县大龙洞水库上中下游分别取点进行了监测和采样,包括仪器现场测试和样品室内测试等。大龙洞水库和青狮潭水库取样点分别为 D1 ($108^{\circ}32'21.33''\text{E}$, $23^{\circ}37'6.15''\text{N}$), D2 ($108^{\circ}33'55.26''\text{E}$, $23^{\circ}36'43.28''\text{N}$), D3 ($108^{\circ}35'19.92''\text{E}$, $23^{\circ}35'28.50''\text{N}$) 和 Q1 ($110^{\circ}13'37.71''\text{E}$, $25^{\circ}33'58.58''\text{N}$), Q2 ($110^{\circ}12'55.07''\text{E}$, $25^{\circ}32'35.75''\text{N}$), Q3 ($110^{\circ}10'47.00''\text{E}$, $25^{\circ}30'10.19''\text{N}$)。

现场使用定深采样器(德国 HYDRO-BIOS 公司 Ruttner 标准水样采集器)进行采样,用 WTW3430 多参数水质测定仪(德国 WTW 公司)测定水温(T)、溶解氧(DO)、pH 值、电导率(SpC),精度分别为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 0.01 mg/L 、 0.001 个 pH 单位、 $1\text{ }\mu\text{S/cm}$;用多参数水质测定仪测定浊度(Tb),叶绿素 a(Chla),精度分别为 0.1 FTU 、 $0.1\text{ }\mu\text{g/L}$;用手持式风速仪测定风速、气温,精度为 0.01 m/s 、 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$;用碱度试剂盒(德国 Merck 公司)滴定 HCO_3^- 、 Ca^{2+} ,滴定精度为 0.01 、 0.20 mg/L , HCO_3^- 采用标准酸甲基橙指示剂滴定法。现场取水样储存于 500 mL 的高密度聚乙烯瓶子,用来作为阴离子的水样品。现场用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 的醋酸纤维滤膜过滤,装入 50 mL 聚乙烯瓶子,加入约 0.2 mL $1:1\text{ HNO}_3$ 溶液,用来作为阳离子的水样品。所有水样采集后用冰袋保存,随后带回中国地质科学院岩溶地质研究所冷藏室冷藏。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 阳离子采用全谱直读等离子体光谱仪分析(IRIS Intrepid II XSP, Full spectrum plasma emission),测试精度为 0.01 mg/L ; NO_3^- 、 SO_4^{2-} 阴离子采用离子色谱仪分析(万通 883 Ion chromatography),测试精度为 0.01 mg/L ;所有水样的测试分析在中国地质科学院岩溶地质研究所完成。

1.3 数据分析

采用 SPSS 对测试数据进行统计分析,使用阴阳离子平衡法对样品测试数据的可靠性进行检验。所有水样的阴阳离子平衡误差均在 $\pm 5\%$ 范围内,数据精度满足分析要求。采用离子比值法、Gibbs 图等方法研究了地表水化学的主要影响因素,运用 Origin 绘制 Piper 三线图,分析流域水化学特征。

2 结果与讨论

2.1 水化学特征对比分析

本研究 2 个水库水化学 Piper 三线图(图 1)显示 Ca^{2+} 是青狮潭水库和大龙洞水库最主要的阳离子,分别占阳离子的 85.3% 和 50.2% , HCO_3^- 是大龙洞水库最主要的阴离子,占阴离子的 73% , SO_4^{2-} 是青狮潭水库主要的阴离子,占阴离子的 58.5% 。可见大龙洞水库的水化学类型为 Ca-HCO_3 型,作为典型的岩溶水库, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 这 2 种离子的浓度与岩溶作用强度有着很大联系,反映了水库水化学特征主要受岩石分化溶解的影响。

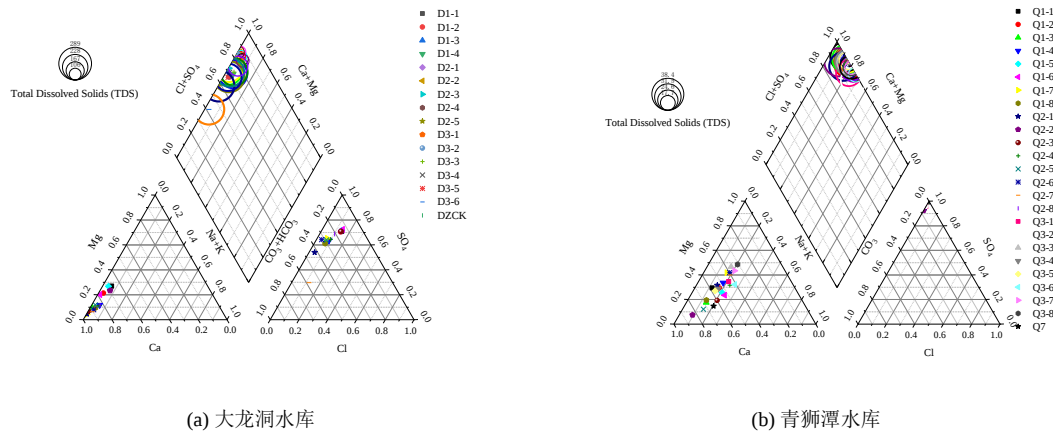


图 1 水化学 Piper 三线图

Fig.1 Piper hydrochemistry diagram

2.2 主要水化学组分特征

青狮潭水库和大龙洞水库水化学组分组成范围如表 1 所示。青狮潭水库和大龙洞水库水温较为一致，分别为 23.5~32.1 ℃ 和 19.1~32.2 ℃，大龙洞水库水样 pH 值为 6.81~8.75，平均值为 7.16；电导率为 166~446.2 μS/cm，平均 333.5 μS/cm，而青狮潭水库水样的 pH 值为 5.77~9.21，平均值为 7.51；电导率为 33.7~55.5 μS/cm，平均 48.9 μS/cm。可见，大龙洞水库水体有着较青狮潭水库更高的电导率。青

狮潭水库总阳离子当量浓度（ $TZ^+=K^++Na^++2Ca^{2+}+Mg^{2+}$ ）为 0.25~1.10 meq/L，平均 0.68 meq/L；总阴离子当量浓度（ $TZ^-=SO_4^{2-}+NO_3^-+HCO_3^-$ ）为 0.30~1.23 meq/L，平均 0.77 meq/L。与电导率相一致，大龙洞水库有着相对更高的离子当量浓度，其总阳离子当量浓度为 2.89~4.52 meq/L，平均 3.71 meq/L；总阴离子当量浓度为 2.60~4.58 meq/L，平均 3.59 meq/L。

表 1 青狮潭水库和大龙洞水库水化学组分组成

Table 1 Water chemical composition of Qingshitian reservoir and Dalong Dong Reservoir

采样地方	采样点编号	水温 T	pH值	$EC/(\mu S\ cm^{-1})$	阳离子				阴离子		
					K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
青狮潭水库	Q1-1	30.70	9.09	58.90	0.54	2.40	14.00	7.08	1.38	5.55	0.50
	Q1-3	30.10	8.61	55.50	0.53	1.53	10.00	2.57	1.75	5.31	0.40
	Q1-8	21.90	5.99	45.10	0.55	1.41	10.00	2.90	3.72	4.49	0.50
	Q2-1	32.20	9.00	55.80	0.56	2.77	12.00	7.10	0.98	5.28	0.20
	Q2-3	28.60	7.12	47.00	0.49	2.30	8.00	2.57	1.20	5.21	0.40
	Q2-8	19.10	5.77	47.90	0.61	3.35	8.00	6.38	0.52	4.90	0.50
	Q3-1	31.10	9.21	49.60	0.49	3.39	8.00	6.26	4.85	4.44	0.30
	Q3-3	28.50	6.91	46.90	0.78	3.89	10.00	12.89	4.89	4.12	0.40
	Q3-8	21.00	5.89	33.70	0.56	3.45	6.00	9.47	4.53	3.86	0.30
大龙洞水库	D1-1	32.10	8.75	163.50	0.52	1.95	26.00	10.47	1.31	8.17	1.30
	D1-3	26.10	6.86	394.50	0.19	0.85	84.00	9.38	7.87	9.85	4.60
	D1-4	25.30	7.01	404.00	1.31	4.54	86.00	12.23	7.44	10.04	4.30
	D2-1	32.00	8.65	166.00	0.18	1.63	30.00	11.62	0.39	8.51	1.50
	D2-3	26.40	7.41	399.80	0.08	0.31	82.00	3.63	7.30	10.13	4.30
	D2-5	23.60	6.91	446.20	0.04	0.31	104.00	4.94	0.39	6.70	5.20
	D3-1	32.10	8.58	187.60	0.62	2.81	34.00	11.41	1.84	8.86	1.60
	D3-3	27.00	7.57	396.70	1.16	4.08	80.00	10.84	8.00	10.28	4.10
	D3-6	23.50	6.81	434.40	1.22	2.12	98.00	6.98	0.00	2.62	5.10

2.3 主要离子变化趋势及影响因素

如图 2 所示，青狮潭水库和大龙洞水库的主要离子具有明显的垂向变化，除青狮潭水库上中下游的 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 量变化不大外，各主要离子量随着

深度的增加水库水体离子浓度降低。由此可见，在夏季温度升高，岩石风化作用增强，但由于 8 月是雨季，雨水的大量增加导致流量增大导致的稀释作用，使得水中离子浓度下降。研究表明 Ca^{2+} 一般为

地方来源^[27], 两库区周边的地层岩石主要为碳酸盐岩, 因此可以认为 Ca^{2+} 主要来源于碳酸盐岩的风化和溶解, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 有显著的正相关性 (图 3),

表明他们有相同的来源, K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 均表现出和 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 有显著的正相关性, 表明他们有类似的来源 (图 2)。

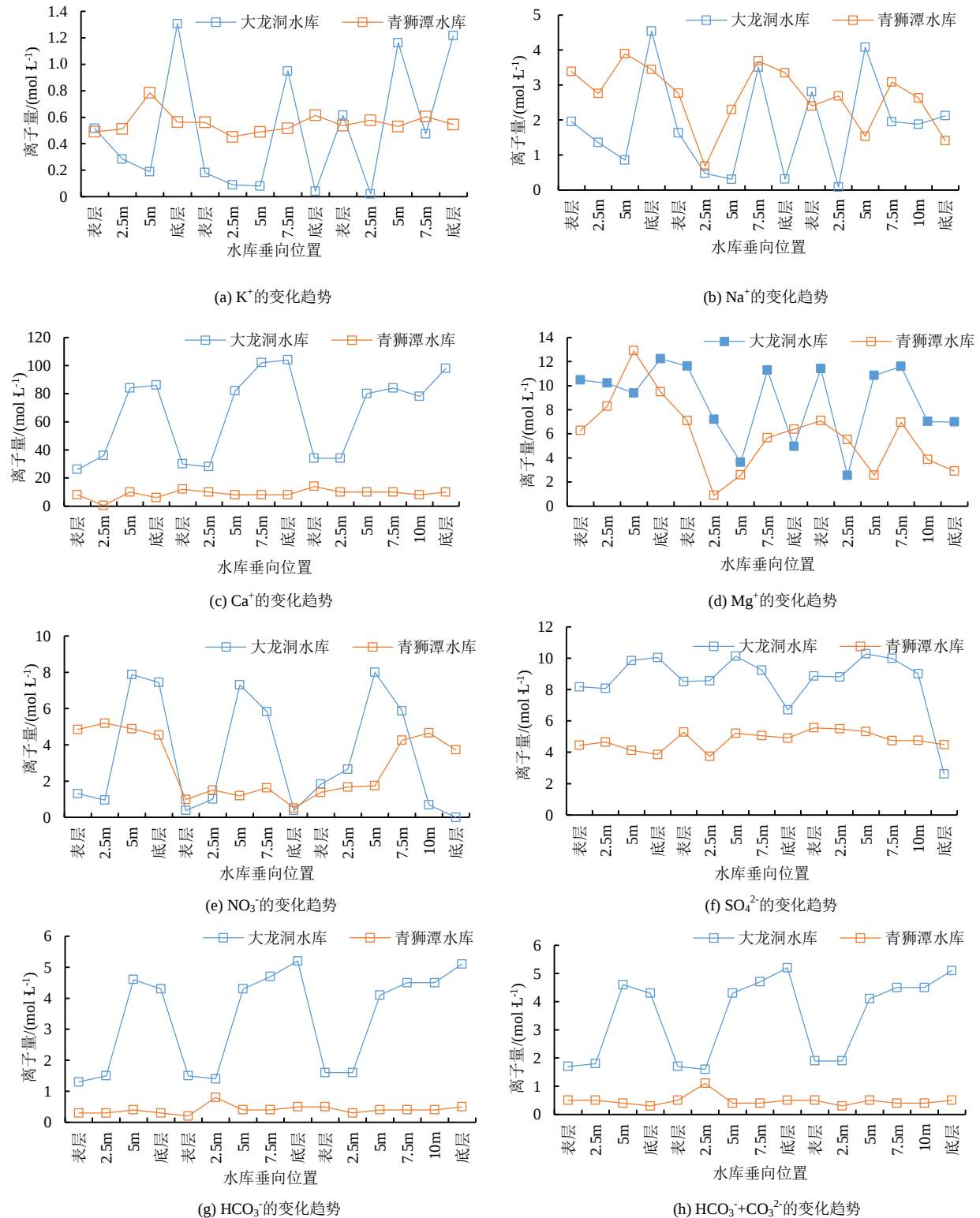


图 2 大龙洞水库和青狮潭水库主要离子横向变化趋势

Fig.2 Variation trend of main ions in Dalongdong reservoir and Qingshitian Reservoir

2.4 水化学形成于岩石风化的初步分析

水库库区中的主要离子除了来自岩石风化溶解外, 还有降雨、人为活动以及大气输入。研究表明主要化学离子受水文环境影响较大, SO_4^{2-} 主要来源

于大气沉降^[27-28]。随着工业活动的加强, 大气酸性降水表现在 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 量的增高^[29]。这说明水化学离子的复杂性, 同时受到水文、土壤和地下水的相互作用、地质、人为输入等影响^[30], 另一方面, 这

也表明雨季的径流是 NO_3^- 的一个重要来源^[31]。

水库库体主要风化过程研究表明 HCO_3^- 及 Ca^{2+} 主要来源于白云岩及方解石的风化溶解^[32-33]。 HCO_3^- 与 Ca^{2+} 的摩尔比为 (3.4~5.2) : 1 (表 1), 说明方解石水解是水库上中下游主要的风化反应, 同时如图 3 (a) 所示, 大龙洞水库库区中 HCO_3^- 与 Ca^{2+} 有较好的正相关关系, 比青狮潭水库库区中 HCO_3^- 与 Ca^{2+} 更相关, 而青狮潭水库分布较散 (图 3 (b)),

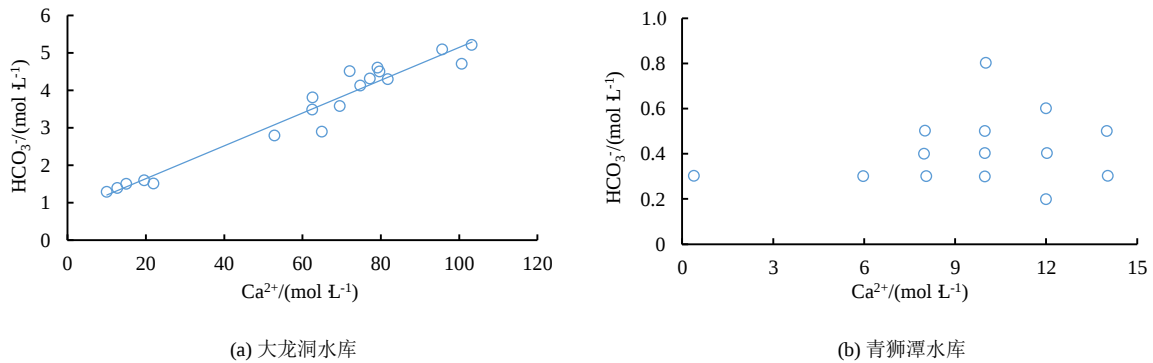


图 3 大龙洞水库和青狮潭水库 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的关系

Fig.3 The relationship between Ca^{2+} and HCO_3^- in Dalongdong reservoir and Qingshitian Reservoir

3 水库水资源保护策略

水库上中下游流域岩石风化溶解及人为活动强度引起大龙洞水库和青狮潭水库水化学特征组分及变化趋势, 研究表明 HCO_3^- 几乎不受人为活动的影响^[29], Na^+ 和 SO_4^{2-} 大多源于人为排放, 说明人类活动正在大动作地改变着水中水化学主要离子的组成, 大气降水在降雨量丰富的地方是控制地表水化学的重要机制^[34], 大龙洞水库和青狮潭水库所在地区都降雨充沛, 随着社会经济的发展和人类活动的加剧, 降雨对水库水化学组成的影响将逐渐显示出来, 必须加强水库水资源保护以及对强酸雨控制预防等人类活动的科学性、合理性规划。

青狮潭水库、大龙洞水库水质历来较好, 达到或优于《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) III类水质标准。然而近年以来, 青狮潭水库、大龙洞水库水质逐渐变差, 坝首断面多项指标超出《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) III类水质标准, 有些指标甚至为劣 V 类。水库大坝附近水域呈现富营养化特征, 浮游藻类异常繁殖, 水体呈蓝绿色。由于雨水较多, 冲击泥沙杂质随着雨水汇入水库, 加上阳光充足, 气温高, 水温高, 加速了水库沉积物中营养盐的释放, 造成藻类等水生生物的异常繁殖, 在水库坝首附近水域水面出现很多藻类, 水质恶化。在气候条件背景下, 原有的水库流域生态遭破坏, 研究表明气候变化已经引起湖泊水体组成的变化, 同时降雨量增多导致水库水位的升高, 造成水库周

暗示存在白云岩的风化。青狮潭水库中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 物质的量浓度变化不大, 相较于青狮潭水库, 大龙洞水库中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 物质的量浓度波动较大。介于 2 个水库的巨大差异, 该变化不是由于降雨造成的, 而是作为典型的岩溶水库和非岩溶水库中地质层岩石情况的不同, 岩石风化和水解的作用下导致水库水体中的离子浓度的改变。

围的植被毁损及水土流失严重等生态问题, 被淹没的区域土壤及岩石的溶解及分化加快, 这些均能引起库区水化学组成特征的改变。因此, 针对这些问题, 应在水库周边建设生物缓冲带, 即库区周边移植一片有一定生长周期的高树, 利用树木的强大根系来加固水库岸边的土壤。在一定程度上可以阻挡泥沙以及污染物进入水库, 从而控制了造成水库污染的污染源。再者进行湿地扩展, 扩展范围应涉及水域区和周边环境。此外, 对水库建立水库水资源地保护区, 在保护区范围内禁止排放对水质造成污染的废水, 控制因放牧、施肥引起的水域富营养化等生态效益方面的问题都有极其重要的作用。

4 结论

1) 青狮潭水库主要的阴阳离子为 SO_4^{2-} 和 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, 大龙洞水库主要的阴阳离子为 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 是主要的阴阳离子, Ca^{2+} 是大龙洞水库和青狮潭水库最主要的阳离子。

2) 大龙洞水库和青狮潭水库水化学组分组成存在差异, 大龙洞水库水体有着较青狮潭水库更高的电导率, 与电导率相一致的, 大龙洞水库有着相对更高的离子当量浓度。

3) Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 离子的来源主要受水库水域中碳酸盐岩的风化溶解以及人为活动输入, Na^+ 与主要阴离子 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 有显著的正相关关系, 他们主要来源于自然矿物风化, 人为活动输入贡献较少。主要离子呈现一致的空间变化, 水库水体的

主要离子浓度整体表现为随着水库深度的加深, 离子浓度逐渐降低, 由于 8 月是雨季, 雨水的从而导致流量增大导致的稀释作用, 使得水中离子浓度下降。大量雨水导致流量增大从而引起的稀释作用是水库水化学离子浓度降低的主要原因。

4) SO_4^{2-} 、 NO_3^- 主要受大气降水和人类活动的影响, 相较而言, 大龙洞水库因人口密集, 故此受人类活动影响更为显著。

参考文献:

- [1] 水库基本知识一览(1)[J]. 中国水能及电气化, 2019(5): 70, 5.
- [2] 吴继峰, 王丹. 水库管理与生态保护之间协调发展探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2012(10): 278.
- [3] 翟凤梅. 基于生态环境保护中的水资源可持续发展与利用[J]. 地球, 2019(6): 108.
- [4] BREZONIK P L, ARNOLD W A. Water chemistry: Fifty years of change and progress[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(11): 5 650-5 657.
- [5] CAÑEDO-ARGÜELLES M, KEFFORD B J, PISCART C, et al. Salinisation of rivers: An urgent ecological issue[J]. Environmental Pollution, 2013, 173: 157-167.
- [6] HILL T, NEAL C. Spatial and temporal variation in pH, alkalinity and conductivity in surface runoff and groundwater for the Upper River Severn catchment[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 1997, 1(3): 697-715.
- [7] OHRUI K, MITCHELL M J. Stream water chemistry in Japanese forested watersheds and its variability on a small regional scale[J]. Water Resources Research, 1998, 34(6): 1 553-1 561.
- [8] 沈贝贝, 吴敬禄, 吉力力 柯不都外力, 等. 巴尔喀什湖流域水化学和同位素空间分布及环境特征[J]. 环境科学, 2020, 41(1): 173-182.
- [9] 郭艺, 甘甫平, 闫柏琨, 等. 羌塘高原南部湖泊水化学特征及控制因素[J]. 河北地质大学学报, 2021, 44(4): 74-82.
- [10] 张乾柱, 邓浩俊, 卢阳, 等. 丹江口水库水化学特征现状分析[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(9): 24-30, 49.
- [11] 易雅宁, 孙晓懿, 王富强, 等. 三门峡库区湿地水化学特征及影响因素分析[J]. 人民黄河, 2021, 43(3): 90-96.
- [12] 李思悦, 程晓莉, 顾胜, 等. 南水北调中线水源地丹江口水库水化学特征研究[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2 111-2 116.
- [13] 李荐华, 郑芳文, 吴超, 等. 长江中下游典型硅酸盐岩流域自然风化与人类活动影响下的水化学特征: 以抚河流域为例[J]. 地球与环境, 2021, 49(4): 347-357.
- [14] 虞之锋, 陈敏, 肖尚斌, 等. 长江中上游结合带喀斯特小流域夏季水化学特征: 以宜昌下牢溪为例[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2021, 43(3): 25-30.
- [15] 李思悦, 程晓莉, 顾胜, 等. 南水北调中线水源地丹江口水库水化学特征研究[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2 111-2 116.
- [16] 王琪, 于爽, 蒋萍萍, 等. 长江流域主要干/支流化学特征及外源酸的影响[J]. 环境科学, 2021, 42(10): 4 687-4 697.
- [17] 张乾柱, 邓浩俊, 卢阳, 等. 丹江口水库水化学特征现状分析[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(9): 24-30, 49.
- [18] 刘敏, 赵良元, 李青云, 等. 长江源区主要河流水化学特征、主要离子来源[J]. 中国环境科学, 2021, 41(3): 1 243-1 254.
- [19] 李思悦, 张全发. 对南水北调工程解决中国北方用水问题的分析[J]. 人民黄河, 2005, 27(8): 28-29, 43.
- [20] 李仁东, 李劲峰, 黄进良, 等. 南水北调对湖北丹江口水库区土地资源的影响[J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7(2): 109-114.
- [21] 李思悦, 张全发. 南水北调中线丹江口库区主要生态环境问题及植被恢复[J]. 中国农村水利水电, 2008(3): 1-4.
- [22] 陈绪强. 南水北调中线工程供水水质[J]. 人民长江, 1994, 25(2): 16-19.
- [23] 成庆利, 张杰. 丹江口水库水质现状分析与评价[J]. 环境与可持续发展, 2007, 32(1): 12-14.
- [24] 谈啸明. 青狮潭水库洪水期间降雨入库径流相关关系分析[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2014.
- [25] 姜峰. 广西大龙洞岩溶水库表层沉积物碳氮磷地球化学特征[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2017.
- [26] 李建鸿. 岩溶地下水补给型水库水—气界面碳通量特征及其影响因素研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [27] 朱秀群. 南洞岩溶水系统水文地球化学特征及形成机制研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [28] HORNBECK J W, BAILY S W, BUSO D C, et al. Streamwater chemistry and nutrient budgets for forested watersheds in New England: variability and management implications[J]. Forest Ecology and Management, 1997, 93(1/2): 73-89.
- [29] 吴丰昌, 万国江, 蔡玉蓉, 等. 控制湖泊水体化学组成的地球化学原理研究[J]. 水科学进展, 1997, 8(2): 169-175.
- [30] 周长进, 董锁成, 李岱. 疏勒河流域水化学特征及其保护[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(2): 16-18, 69.
- [31] MARKICH S J, BROWN P L. Relative importance of natural and anthropogenic influences on the fresh surface water chemistry of the Hawkesbury-Nepean River, south-eastern Australia[J]. The Science of the Total Environment, 1998, 217(3): 201-230.
- [32] 余伟, 杨海全, 郭建阳, 等. 贵州草海水化学特征及离子来源分析[J]. 地球与环境, 2021, 49(1): 32-41.
- [33] 苏贺. 地下水化学演化及驱动机制研究[D]. 西安: 西北大学, 2018.
- [34] SHEN L J, LIU C L, ZHAO J X, et al. The formation process of the Mengyejing potash deposit, Yunnan, China: Evidence from geochemical and petrological characteristics[J]. Geosciences Journal, 2021, 25(5): 619-633.

Comparative Analysis of Hydrochemical Characteristics of Reservoirs with Different Geological Backgrounds in Guangxi

LI Liju, TANG Xiangling*, LI Ziwei

(Guilin University of Technology, Guilin 541000, China)

Abstract: 【Background】 With the development of China's economy, the phenomenon of water shortage will become more and more serious, and the amount of water supply in reservoirs will increase day by day, it is of great significance to carry out ecological research on reservoirs in China and improve the water quality of reservoirs. Water chemistry research is an important part of water resources quality evaluation, which is of great significance to the use of water resources, sustainable development, management methods and the construction and protection of ecological environment. 【Objective】 In order to study the difference of hydrochemical characteristics of reservoirs with different geological backgrounds in Guangxi and their response to human activities, the hydrochemical test data of Qingshitan reservoir and Dalong Dong reservoir, which are mainly non-karst areas, were used in August 2021. 【Method】 The hydrochemical characteristics and influencing factors of two typical reservoirs with different geological backgrounds were analyzed by using Piper trigram and correlation analysis. 【Result】 The results showed that the main anions of Qingshitan reservoir, a typical non-karst reservoir, were SO_4^{2-} and $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, while the hydrochemistry of Dalong Dong reservoir, a typical karst reservoir, was Ca-HCO_3 type, and HCO_3^- and Ca^{2+} were the main anions. The main ions showed consistent spatial variation. As the reservoir depth deepens, the main ion concentration of the reservoir water gradually decreased, mainly affected by the change of flow. 【Conclusion】 The hydrochemical characteristics of the reservoir are mainly derived from the differentiation and dissolution of rocks in the reservoir. While SO_4^{2-} and NO_3^- are mainly affected by human activities and atmospheric precipitation, dalongdong Reservoir is more significantly affected by human activities. Finally, according to the problems in the reservoir, the suggestions and measures of reservoir water resources protection are put forward.

Key words: hydrochemical characteristics; influencing factors; Qingshitan Reservoir; Dalongdong Reservoir

责任编辑：赵宇龙

(上接第 78 页)

Path and Strategy of Ecological Protection and High-quality Development of Dawen River in Laiwu

SUN Qinglei

(Survey and Design Institute, Shandong Agricultura University, Tai'an 271018, China)

Abstract: In order to solve the problems of flood threat, fragile ecology and extensive development of Dawen River in Laiwu County. According to the current situation, history, culture and development requirements of Dawen River, the advanced river regulation technology was used to protect ecology, control flood, save water and construct water landscape. And we plan to adjust land use requirements, adjust industrial layout, improve transportation facilities, build tourism facilities, and promote the synchronous management of rivers, industries and cities. Dawen River will become a landmark green ecological corridor in the Yellow River Basin. Dawen River and Laiwu City will develop together, Dawen River will become safe and beautiful, and Laiwu City will become fashionable and low-carbon, After the implementation of the plan, the ecological environment of Dawen River will be protected and restored, high-quality development will be achieved on both sides of Dawen River. Laiwu will change from a city along the river to a city across the river, The water quality of China's South-to-North Water Transfer Project will become better, and Dawen River will better promote the protection of the ecological environment in the central part of Shandong Province.

Key words: Dawen River; ecological protection; high quality development; route; strategy

责任编辑：赵宇龙