

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.9
第41卷 第9期

目次

2020年天津市两次重污染天气污染特征分析.....肖致美,徐虹,蔡子颖,李鹏,刘彬,元洁,郑乃源,唐迦,陈魁,邓小文(3879)

基于高分辨率MARGA分析成都市PM_{2.5}中水溶性离子污染特征.....尹寒梅,陈军辉,冯小琼,姜涛,钱骏,刘政(3889)

宿迁市PM_{2.5}中水溶性无机离子的季节特征和来源分析.....
.....马红璐,赵欣,陆建刚,王辉,许纯领,欧阳琰,朱新胜,殷堂兵,漆丹,陆亚秋,汪玖阳,陆声兴(3899)

鼎湖山大气颗粒物中OC与EC的浓度特征及粒径分布.....李安娜,温天雪,华维,杨员,孟泽,胡波,辛金元(3908)

鞍山市道路扬尘碳组分特征及来源解析.....林孜,姬亚芹,林宇,国纪良,马妍,赵静琦(3918)

西安市冬季PM_{2.5}中WSOC的光谱特性和来源解析.....杨毅,张亚楠,刘焕武,田萍萍,李亚飞,雷颖,王一博(3924)

长三角地区气溶胶光学性质与新粒子生成观测.....
.....杜盈盈,陈军,张家洛,甘桂城,刘瑜存,苏明旭,楼晟荣,周敏,陶士康,乔利平(3932)

连云港市挥发性有机化合物的组分特征及来源解析.....崔金梦,王体健,李秋潼,董立文,黄丛吾,曹云擎(3941)

成都市城区大气VOCs季节污染特征及来源解析.....王成辉,陈军辉,韩丽,徐晨曦,王波,李英杰,刘政,钱骏(3951)

德州市夏季臭氧敏感性特征及减排方案.....严茹莎(3961)

超低改造下中国火电排放清单及分布特征.....屈加豹,王鹏,伯鑫,薛晓达,董广霞,崔磊,康明雄,王彤,汤铃,朱法华,李时蓓(3969)

浙江省人为源氨排放清单建立及分布特征.....赵睿东,于兴娜,侯新红,沈丽(3976)

垃圾焚烧烟气中二噁英控制技术的评估与筛选.....赵思岚,奚鹏飞,郭凤艳,邓双,贾建丽(3985)

兰州市两场典型降水事件稳定同位素特征及其水汽来源.....韩婷婷,张明军,王圣杰,杜勤勤,马转转,郭蓉,曹晏风(3993)

然乌湖流域地表水水化学特征及控制因素.....张涛,王明国,张智印,刘廷,何锦(4003)

河套灌区地下水化学演变特征及形成机制.....崔佳琪,李仙岳,史海滨,孙亚楠,安海军,邢进平(4011)

石期河流域地下水化学特征及物质来源分析.....李笑,于爽,李亮,郭永丽(4021)

长江中下游湖泊水体氮磷比时空变化特征及其影响因素.....季鹏飞,许海,詹旭,朱广伟,邹伟,朱梦圆,康丽娟(4030)

2016~2017年长荡湖流域湖库系统营养盐时空分布机制分析.....李新艳,李恒鹏,姜三元,马培,赖锡军,邓建才,陈东强,耿建伟(4042)

菹草对湖泊水质及浮游植物群落结构的影响.....康丽娟,许海,邹伟,朱广伟,朱梦圆,季鹏飞,陈洁(4053)

金泽水库库区细菌群落构建过程与关键驱动因子分析.....刘明坤,童俊,朱慧峰,白晓慧(4062)

典型氟工业园周边河流沉积物中全(多)氟化合物的分布特征.....孙琳婷,赵祯,唐建辉(4069)

微塑料对河水抗生素抗性基因的影响.....周昕原,王言仔,苏建强,黄福义(4076)

莲花水库水体中抗生素污染特征及生态风险评价.....廖杰,魏晓琴,肖燕琴,李青松,范洪勇,刘学军,庄马展,刘超翔(4081)

拟柱孢藻生长及碱性磷酸酶活性对不同磷浓度和磷形态响应的株系间差异.....叶金梅,赵莉,罗旭,彭亮,雷腊梅(4088)

奶水河湿地植物作用及调水水质响应模拟.....李亚娟,杜彦良,毕二平,王亮,陈翠柏(4095)

浅基质层干植草沟运行效果的现场实验.....张佳炜,李田,张庭秀(4105)

海绵城市地块汇水区颗粒污染物的传输.....李佳,谢文霞,姜智绘,单溪环,廖云杰,赵洪涛,李叙勇(4113)

天然黄铁矿吸附去除水中Sb(V):性能与机制.....石松,吴乾元,李新正,黄满红(4124)

过硫酸盐氧化处理含砷磷酸废水.....章晋门,卢钧,刘晓琛,陈泉源(4133)

温度对城市污水厌氧生物滤池运行效果与菌群结构的影响.....刘智斌,刘秀红,周桐,章世勇,李健敏,杨庆(4141)

ABR-MBR耦合工艺启动及优化反硝化除磷性能.....缪新年,汪倩,郭凯成,刘文如,沈耀良(4150)

低温下全自养脱氮颗粒污泥适应低基质效能.....刘雨馨,王建芳,钱飞跃,陈倩苗,乔伟,沈聪(4161)

雄安新区土壤重金属地球化学监测关键问题探讨.....郭志娟,周亚龙,杨峥,赵传冬,成杭新,孔牧,彭敏(4169)

基于土壤重金属及PAHs来源的人体健康风险定量评价:以北京某工业污染场地为例.....
.....吴志远,张丽娜,夏天翔,贾晓洋,李慧颖,王世杰(4180)

基于乡镇尺度的西南重金属高背景区土壤重金属生态风险评价.....
.....张富贵,彭敏,王惠艳,马宏宏,徐仁廷,成晓梦,侯召雷,陈子万,李括,成杭新(4197)

云南兰坪铅锌矿区优势植物重金属富集特性及应用潜力.....张龙,张云霞,宋波,吴勇,周子阳(4210)

水培试验下水稻Pb吸收累积关键生育期.....胡雨丹,周航,辜娇峰,霍洋,邓鹏辉,魏宾缤,刘俊,廖柏寒(4218)

田间条件下养分调控八宝景天Cd修复效率.....郭俊梅,杨俊兴,杨军,郑国砥,周小勇,陈同斌,卞建林,孟晓飞,李玉峰(4226)

桉树枝条生物炭输入对桂北桉树人工林酸化土壤的作用效果.....
.....段春燕,沈育伊,徐广平,滕秋梅,张德楠,何成新,张中峰,周龙武,孙英杰(4234)

秸秆直接还田和炭化还田对红壤酸度、养分和交换性能的动态影响.....杨彩迪,卢升高(4246)

土壤微生物群落结构对生活源和工业源再生水灌溉的差异化响应.....王燕,程东会,檀文炳,余红,席北斗,姜永海,党秋玲(4253)

粪肥和有机肥施用对稻田土壤微生物群落多样性影响.....理鹏,吴建强,沙晨燕,叶春梅,黄沈发(4262)

松花江下游沿江湿地土地利用变化对土壤细菌群落多样性的影响.....张拓,徐飞,怀宝东,杨雪,隋文志(4273)

黄土高原草地土壤细菌群落结构对于降水变化的响应.....李娜,王宝荣,安韶山,焦峰,黄倩(4284)

土地利用方式对会仙岩溶湿地土壤真菌群落和功能类群的影响.....程跃扬,靳振江,王晓彤,贾远航,袁武,周军波(4294)

黑土真菌群落互作及其与梯度有机质碳分子结构的关系.....尚秋彤,黄瑞林,倪浩为,隋跃宇,孙波,梁玉婷(4305)

贵州茂兰喀斯特森林不同演替下土壤真核微生物多样性.....王显,龙健,李娟,刘灵飞,廖洪凯,李宜蓉,杨睿(4314)

玉米秸秆生物炭固化细菌对镉砷吸附.....刘玉玲,朱虎成,彭鸥,李丹阳,杨蕊蕊,彭晶,铁柏清(4322)

无机态氮素转化机制及水土体氮源识别方法.....梁杏,孙立群,张鑫,张洁,付鹏宇(4333)

《环境科学》征订启事(4061) 《环境科学》征稿简则(4132) 信息(4233, 4293, 4304)

然乌湖流域地表水水化学特征及控制因素

张涛, 王明国, 张智印, 刘廷, 何锦

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 保定 071051)

摘要: 为研究然乌湖流域地表水水化学特征及离子来源, 在然乌湖流域采集了地表水样品和雨水样品, 综合利用相关性分析、Piper 三线图和 Gibbs 模型等方法, 分析了该区地表水主要离子特征及其控制因素, 揭示了该区地表水中的主要物质来源。结果表明, 然乌湖流域地表水 pH 为 7.54 ~ 8.48, 呈弱碱性, 并具有较低的溶解性总固体(59.89 ~ 96.75 mg·L⁻¹), 阳离子主要以 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 为主, Ca²⁺ 当量浓度占阳离子总量的 63.3% ~ 76.2%, 均值为 67.2%, Mg²⁺ 当量浓度占阳离子总量的 23.4% ~ 36.2%, 均值为 31.4%, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 约占阳离子总量的 98.5%。阴离子以 HCO₃⁻ 为主, HCO₃⁻ 占阴离子总量的 74.31% ~ 84.29%, 均值为 78.21%, SO₄²⁻ 占阴离子总量的 9.59% ~ 19.37%, 二者约占阴离子总量的 93.55%。水化学类型为 HCO₃-Ca 和 HCO₃-Ca·Mg 型, 水文地球化学过程受人类活动影响较弱, 主要受岩石风化作用控制, 主要离子来源于碳酸盐岩及硅酸盐岩的风化溶解。

关键词: 水化学; 离子来源; 元素比值; 化学风化; 然乌湖

中图分类号: X143 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)09-4003-08 DOI: 10.13227/j.hj.kx.202002080

Hydrochemical Characteristics and Possible Controls of the Surface Water in Ranwu Lake Basin

ZHANG Tao, WANG Ming-guo, ZHANG Zhi-yin, LIU Ting, HE Jin

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology, China Geological Survey, Baoding 071051, China)

Abstract: To study the chemistry of surface water and potential control measures in the Ranwu Lake basin, 19 samples were collected from Ranwu Lake in 2019. Conventional hydrochemical techniques and statistical analysis methods (descriptive statistics, the Gibbs figure, ion ratio, Piper triangular diagrams) were applied to better understand the solute geochemistry and surface water hydrochemistry in the Ranwu Lake catchment. Surface water in the Ranwu catchment is slightly alkaline (pH of the samples ranged from 7.54 to 8.48 with an average value of 8.06). The concentrations of total dissolved solids (TDS) in the water range from 59.89 to 96.75 mg·L⁻¹ with an average of 79.98 mg·L⁻¹, the total dissolved solids of all samples are less than 100 mg·L⁻¹ and belong to fresh water. The TDS are dominated by Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, and SO₄²⁻ in the Ranwu Lake. The ion concentrations in the lake water samples are in the order of Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺. The concentrations of Na⁺ and K⁺ are very low. Ranging from 0.5 to 1.21 mg·L⁻¹, with an average value of 0.58 mg·L⁻¹, the equivalent concentration of Ca²⁺ accounts for 63.3% to 76.2% of total cations with an average value of 67.2%. The equivalent concentration of Mg²⁺ accounts for 23.4% to 36.2% of total cations with an average value of 31.4%. Ca²⁺ and Mg²⁺ account for 98.5% of total cations. The main anions were HCO₃⁻ and SO₄²⁻. The equivalent concentration of HCO₃⁻ accounts for 74.31% to 84.29% of total anions with an average value of 78.21%. The equivalent concentration of SO₄²⁻ accounts for 9.59% to 19.37% of total anions with an average value of 15.34%. HCO₃⁻ and SO₄²⁻ together account for 93.55% of total anions on average. All the water samples fall in the water-rock interaction field, which suggests that the weathering of rocks primarily controls the major ion chemistry of groundwater in this area. Solutes are mainly derived from carbonate weathering and silicate weathering. The role of cation exchange in the geochemical process of the lake and the influence of human activities on the lake are found to be weak.

Key words: hydrochemistry; ion source; element ratios; chemical weathering; Ranwu Lake

湖泊是水文地球化学的一个重要领域, 与外界物质交换有着其独特的方式, 其水化学特征能反映湖泊水循环过程, 对流域的水岩作用有一定指示作用。湖泊水化学特征受补给类型、大气降水、地形地貌、气候变化、冰川融水、水体生物、径流和排泄等诸多因素影响, 常用于湖泊水循环过程、环境变迁和水化学控制因素等方面的研究^[1,2]。国内外许多研究结合当地的地质背景、土地利用状况以及气候条件^[3,4]等, 对流域水化学演化及水文地球化学过程进行研究。

青藏高原有着众多的湖泊分布, 起着区域生态

系统平衡器和气候变化的调节器的作用, 在维持水环境容量、水化学循环和水生生物平衡方面都有重要的意义。然乌湖位于青藏高原东南部, 是帕隆藏布江上游的淡水湖, 对其的研究主要集中在补给过程及湖面变化方面。如辛晓冬等^[5]对然乌湖流域冰川湖泊变化情况进行了研究, 结果表明该区的冰川面积减少, 湖泊面积增大; 崔颖颖等^[6]对然乌湖的水

收稿日期: 2020-02-14; 修订日期: 2020-03-24

基金项目: 地质调查项目(DD20190534)

作者简介: 张涛(1984~), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为环境分析, E-mail: 277169074@163.com

量平衡季节变化及其补给过程进行了分析,结果表明降水是春季然乌湖的主要补给来源,冰川融水是夏秋季节的主要补给来源.但是对然乌湖流域水化学状况鲜见报道,因此本研究基于然乌湖地表水水化学特征,结合数理统计^[7]和离子比^[8]等方法对然乌湖流域地表水的演化过程进行分析,以期为未来然乌湖流域水化学的演化趋势提供数据支撑.

1 研究区概况

然乌湖位于青藏高原东南部,海拔约为 3 850 m,是雅鲁藏布江支流帕隆藏布上游的淡水湖,湖面呈河流型,全长约为 29 km,平均宽约 800 m^[9],流域面积约 1 985 km²^[10].然乌湖由河道相连雅错、安错和安目错等三部分组成,汇入然乌湖的河流主要有曲尺河、曲日河、真空弄巴、然弄巴和曲布河等,其主要补给来源是降水和冰川融水,且具有明显的季节性,春季气温较低主要靠降水补给,夏秋季节气温较高,主要靠雅弄冰川、作球普冰川和喜日弄普冰川等冰川融水进行补给^[6].然乌湖夏季在 6.6 ~ 15.4°C 之间变化,冬季冻结,属高原寒温带气候类型,日照充足,旱季和雨季分明,年平均气温 2°C,年平均降雨量 500 mm,年平均蒸发量 1 800 mm,年日照时数 2 200 h^[11].然乌湖流域出露地层比较复杂,总体属于然乌-察隅地层分区.研究区中上游白云质灰岩、白云岩、灰岩、石英砂岩、泥质灰岩、生物灰岩以及板岩分布较多,下游发育为二长花岗岩和花岗闪长岩为主.

2 材料与方法

2.1 样品采集

为了综合考虑然乌湖流域地表水水化学演化情况,于 2019 年 6 月共采集 19 组样品,其中地表水样品 17 组,雨水样品 2 组,雨水样品采集于然乌镇,采样点分布见图 1.水样采集一般在水面 10 cm 以下,然后用 0.45 μm 滤膜过滤,存储在聚乙烯样品瓶内,加入硝酸,使水样 pH < 2.

2.2 样品分析方法

pH 采用 insitu 水质多参数分析仪进行测定(美

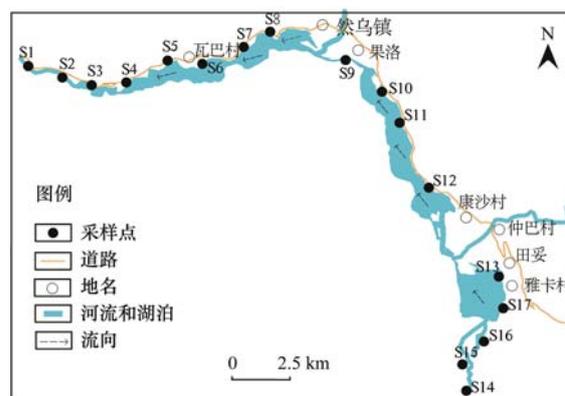


图 1 然乌湖流域采样点分布示意

Fig. 1 Sketch map of the Ranwu Lake basin and sampling sites

国, insitu), 精度分别为 0.01pH, 阳离子 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度采用火焰原子吸收光谱仪(德国耶拿 ContrAA300)进行测定; 阴离子 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 F^- 采用离子色谱仪(瑞士万通 883)进行测定; HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 采用盐酸滴定的方法进行测定; 偏硅酸采用硅钼蓝滴定法进行测定.

3 结果与讨论

3.1 水化学组成特征及水化学类型

3.1.1 水化学组成特征

(1) 主要离子组成

然乌湖流域地表水阳离子以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主, 地表水离子当量浓度呈现 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ 的关系, Na^+ 和 K^+ 含量均很低, Na^+ 介于 0.5 ~ 1.21 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 均值为 0.95 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而 K^+ 含量介于 0.44 ~ 0.71 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 均值为 0.58 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; Ca^{2+} 当量浓度占阳离子总量的 63.3% ~ 76.2%, 均值为 67.2%, Mg^{2+} 当量浓度占阳离子总量的 23.4% ~ 36.2%, 均值为 31.4%, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 约占阳离子总量的 98.5%. 阴离子以 HCO_3^- 为主, 湖水离子当量浓度呈现 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$ 的关系, HCO_3^- 占阴离子总量的 74.31% ~ 84.29%, 均值为 78.21%, SO_4^{2-} 占阴离子总量的 9.59% ~ 19.37%, 均值为 15.34%, 二者约占阴离子总量的 93.55%. 具体水化学测试结果见表 1.

表 1 主要组分分析结果统计/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 Statistics of major ions in surface water/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	H_2SiO_3	TDS
均值	0.95	0.58	17.59	4.52	0.18	0.18	0.58	14.69	69.81	5.41	79.98
中值	0.96	0.57	17.47	4.67	0.18	0.19	0.49	14.36	67.12	5.44	80.61
标准差	0.19	0.07	1.97	0.83	0.03	0.05	0.21	2.78	8.55	0.71	8.49
方差	0.04	0.00	3.86	0.69	0.00	0.00	0.04	7.74	73.17	0.50	72.09
最小值	0.50	0.44	12.59	2.92	0.12	0.07	0.29	7.48	54.92	4.28	59.89
最大值	1.21	0.71	20.68	6.08	0.24	0.27	1.01	19.18	91.53	7.39	96.75

(2) 主要离子空间变化特征

然乌湖流域地表水从上游到下游主要离子质量浓度整体变化不大(图2), 主要离子先升高再趋于平缓, Na^+ 由 $0.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $1.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 增加了 1.08 倍; Ca^{2+} 由 $12.59 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $18.68 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 增加了 48.4%; Mg^{2+} 由 $2.92 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $4.67 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 增加了 59.9%; Cl^- 由 $0.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $0.19 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 增加了 1.11 倍, 但所有水样中 Cl^- 含量均较低; SO_4^{2-} 由 $7.48 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $17.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 增加了 1.28 倍; HCO_3^- 由 $54.92 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $67.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 增加了 22.2%; 主要是随着径流距离的增加, 矿物溶解增多, 各离子浓度略有增加, 整体上趋势较为平缓。

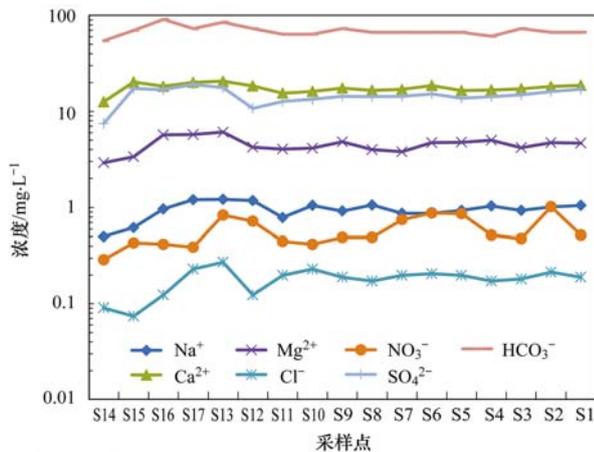


图2 然乌湖流域地表水主要离子浓度空间变化特征

Fig. 2 Spatial variations in major ions concentrations in surface water in the Ranwu Lake basin

3.1.2 pH 及 TDS 空间变化特征

然乌湖流域地表水 TDS 随径流路径呈现先升高后降低到趋于平缓的过程(图3), TDS 值为 $59.89 \sim 96.75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均值为 $79.98 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 低于世界河流的平均值($115 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)^[12], pH 值为 $7.54 \sim 8.48$, 该结果与张强英等^[13]在西藏帕隆藏布江流域天然水的水化学特征中的研究结果相近, 然乌湖流域径流条件较好, 受冰川融水和大气降水影响, 水体呈现低矿化度偏碱的状态。

3.1.3 水化学类型

将主要离子的毫克当量百分比(meq%)点投到 Piper 三线图中, 来评价该区水化学演化及水化学类型^[14-17]. 在阳离子图上, 大部分水样点落在左下角, 表明 Ca^{2+} 在湖水中占优势, 其次是 Mg^{2+} ; 从阴离子图中可以看出, 所有水样点均落在左下角的 HCO_3^- 一端, 说明 HCO_3^- 离子占主要优势, 构成该区水化学类型主要是 HCO_3^- -Ca 和 HCO_3^- -Ca·Mg 型(图4). 而 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及 HCO_3^- 主要来源于碳酸盐岩和硅酸盐岩的溶解, 说明该区主要受岩石的风化溶解

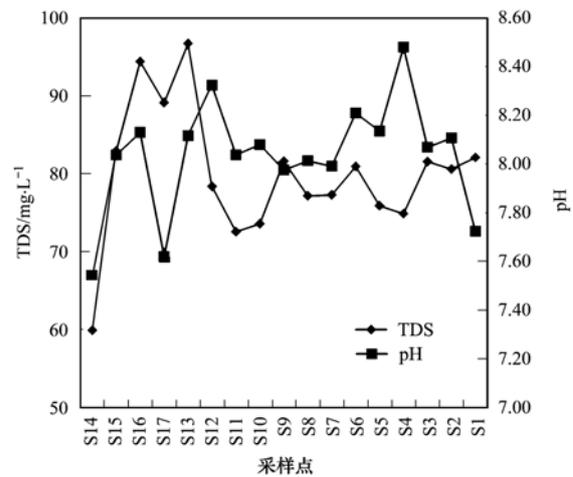


图3 然乌湖流域地表水 TDS 随径流距离变化趋势

Fig. 3 Variations in the TDS along the flow direction of the surface water in Ranwu Lake basin

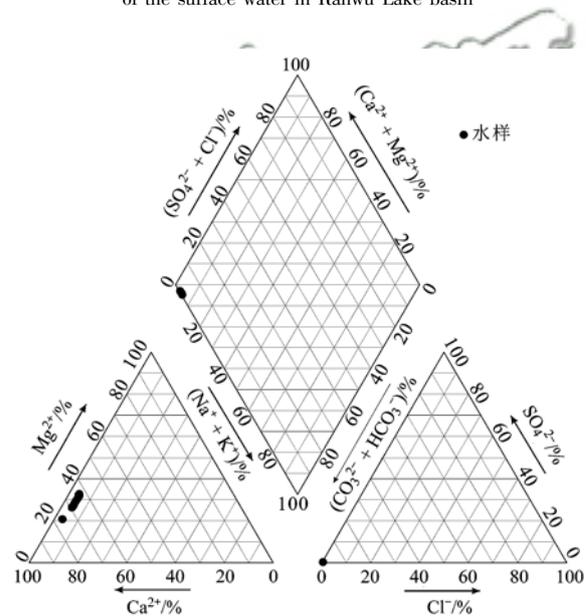


图4 然乌湖流域地表水主要离子 Piper 三线图

Fig. 4 Piper diagram showing major ion composition in surface water within Ranwu Lake basin

控制。

3.1.4 各化学指标之间的相互关系

相关性分析常用来研究水化学演化中的离子来源, 同一来源的组分相关性较强, 否则相关性较差^[18]. TDS 与 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 都有着较强的相关关系(表2), 这说明 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 均是然乌湖流域地表水 TDS 的主要贡献者, 其中 TDS 与 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 具有显著的相关关系, 相关系数分别为 0.872 和 0.906, 这说明 TDS 主要来源于湖水中的 Ca^{2+} 和 HCO_3^- . HCO_3^- 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 都有着显著的相关关系, 说明三者有着共同的物质来源, 主要是来源于白云岩等碳酸盐岩的风化溶解; SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 也有着较强的相关关系, 说明这三者也有着共同的物质来源, 主要

表 2 各常规指标之间相关关系¹⁾

Table 2 Correlation coefficients between major ions in the water

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TDS
Na ⁺	1.00									
K ⁺	0.43	1.00								
Ca ²⁺	0.530*	0.08	1.00							
Mg ²⁺	0.738**	0.30	0.602*	1.00						
F ⁻	0.34	0.602*	-0.16	-0.03	1.00					
Cl ⁻	0.613**	0.39	0.24	0.572*	0.37	1.00				
NO ₃ ⁻	0.31	0.48	0.32	0.29	0.26	0.42	1.00			
SO ₄ ²⁻	0.46	-0.10	0.848**	0.657**	-0.46	0.39	0.17	1.00		
HCO ₃ ⁻	0.46	-0.01	0.655**	0.685**	-0.21	0.12	0.11	0.578*	1.00	
TDS	0.575*	0.05	0.872**	0.795**	-0.25	0.32	0.22	0.847**	0.906**	1.00

1) **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

是来源于方解石和白云岩等碳酸盐岩矿物的风化溶解及硫酸溶解。

3.2 主要离子来源及控制因素分析

3.2.1 水岩模型分析

Gibbs 图如图 5 所示,常用来推断自然水中的水文地球化学过程^[19-21],该图分为 3 个端元,分别为蒸发-结晶、岩石风化和大气降水。大气降水作用控制区具有较低的溶解性总固体浓度($< 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),较高的 $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 和 $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 比值,一般在 0.5~1,该区分布在 Gibbs

图的右下角;岩石风化作用区位于左中部,TDS 值一般在 $70 \sim 300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 和 $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 的比值一般均小于 0.5;蒸发结晶控制区在图的右上角,该区具有较高的 TDS($> 300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 和 $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 的比值也较高(0.5~1)。将然乌湖流域水样点投到 Gibbs 图中,该区水样具有较低的 TDS 和较低的 $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 和 $\text{Cl}^-(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 比值,水样点均落在岩石风化作用控制区(图 5),说明然乌湖流域地表水主要离子来源于岩石风化作用。

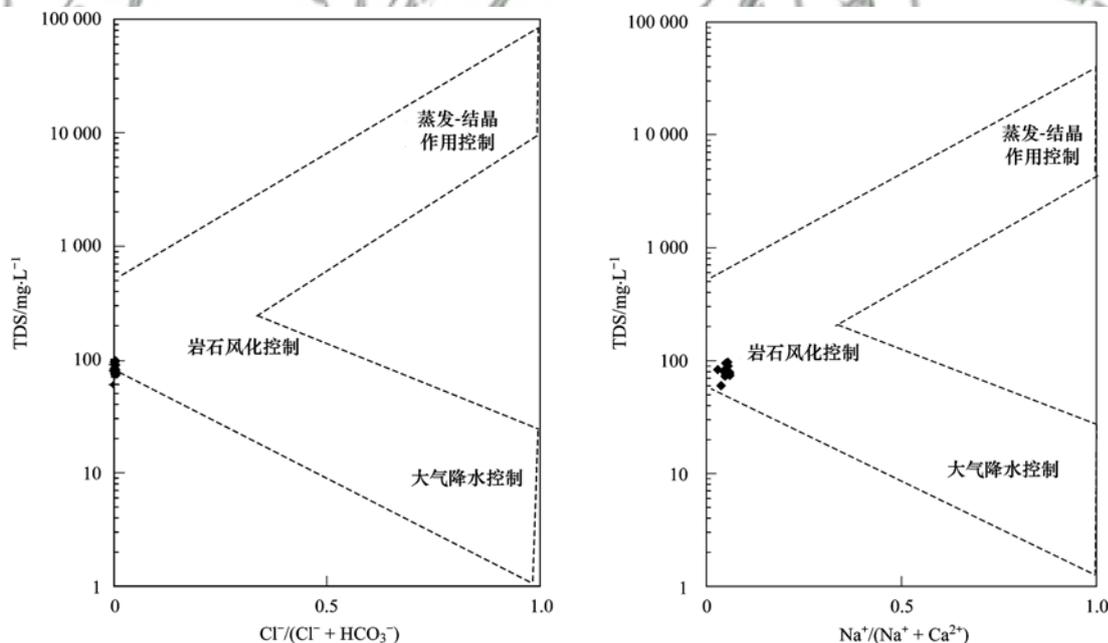


图 5 然乌湖流域地表水 Gibbs 图

Fig. 5 Gibbs plots of the Ranwu Lake basin

以大气降水为基线, Ca/Na 和 TDS 的对数关系模型常用来研究影响流域水化学的影响因素^[22,23],在该区采集 2 组雨水样品,样品中 Ca^{2+} 、 Na^+ 和 TDS 分别为 4.06 、 0.11 和 $13.70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。经模型分析,然乌湖湖水主要落在岩石风化区域(图 6),这个结论和 Gibbs 模型的分析的结果是一致的,从图 6

还可以看出该区水化学组分受含钠岩石风化溶解影响较大。

不同岩石的风化会产生不同的离子, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 主要来源于碳酸盐岩、硅酸盐岩和蒸发岩的风化作用, Na^+ 和 K^+ 主要来自于硅酸盐岩和蒸发岩的风化溶解, HCO_3^- 主要来源于碳酸盐岩和硅酸盐岩

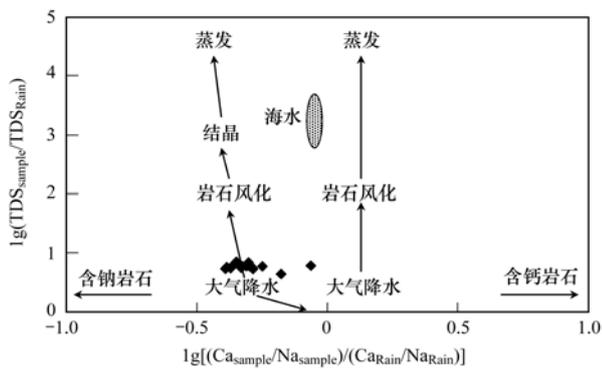


图 6 水中 Ca-Na-TDS 关系

Fig. 6 Relationship of Ca-Na-TDS in water

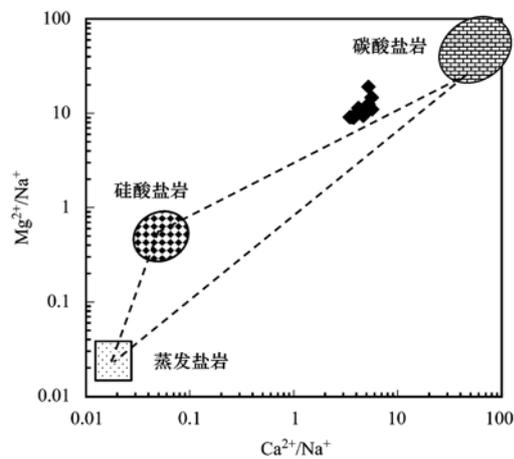
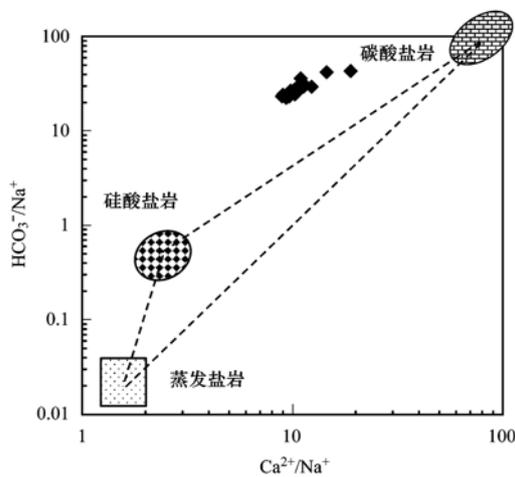


图 7 Ca^{2+}/Na^+ 与 Mg^{2+}/Na^+ 、 HCO_3^-/Na^+ 关系

Fig. 7 Plots of HCO_3^-/Na^+ versus Ca^{2+}/Na^+ and Mg^{2+}/Na^+ versus Ca^{2+}/Na^+

吸附水中某些阳离子, 而将其原来吸附的部分阳离子转化为水中的组分^[26]. $(Na^+ - Cl^-)$ 与 $[(2SO_4^{2-} + HCO_3^-) - 2(Ca^{2+} + Mg^{2+})]$ ($mmol \cdot L^{-1}$) 可以判定是否发生 $(Na^+ - Cl^-)$ 的交换作用^[27], 如果水文地球化学过程主要是以阳离子交换过程为主, 则 $(Na^+ - Cl^-) / [(2SO_4^{2-} + HCO_3^-) - 2(Ca^{2+} + Mg^{2+})]$ 比值应该分布在 1:1 线附近. 然乌湖流域水样的 $(Na^+ - Cl^-) / [(2SO_4^{2-} + HCO_3^-) - 2(Ca^{2+} + Mg^{2+})]$ 的浓度比值只有 1 个点在 1:1 线附近 (图 8), 其它的均远离 1:1 线, 说明阳离子交换作用在然乌湖水文地球化学过程中的作用比较微弱.

3.2.3 人为活动输入

人类活动对水化学演化有着非常重要的影响, 它通过废水、废物和废气的输送来改变水化学组分. 人类活动强烈的地区, 就会带入较多的 NO_3^- 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等离子, 当然 Cl^- 和 SO_4^{2-} 也来源于石膏和盐岩的溶解, 或者是硫化物的氧化. 一般水受到人为活动的影响时, 会有较高的 Cl^-/Na^+ 和 NO_3^-/Na^+ 比值^[28], 然而在图 9 中可以看出, 然乌湖流域地表水中 Cl^-/Na^+ 和 NO_3^-/Na^+ 比值都比较低, 这说明

的风化溶解, SO_4^{2-} 和 Cl^- 主要来源于蒸发岩的溶解, 通常用混合图来揭示流域中化学风化作用产生的离子的来源. 由于 Ca^{2+}/Na^+ 、 Mg^{2+}/Na^+ 、 HCO_3^-/Na^+ 不受流速、稀释和蒸发作用的影响^[24,25], Ca^{2+}/Na^+ 与 Mg^{2+}/Na^+ 和 Ca^{2+}/Na^+ 与 HCO_3^-/Na^+ 的关系可以揭示水化学成因, 主要离子来源于何种矿物的溶解, 然乌湖水样点落在硅酸盐岩和碳酸盐岩区的中间 (图 7), 然乌湖流域地表水受碳酸盐岩风化和硅酸盐岩风化等水岩相互作用的影响.

3.2.2 阳离子交替吸附

阳离子交替吸附作用是在一定条件下, 颗粒将

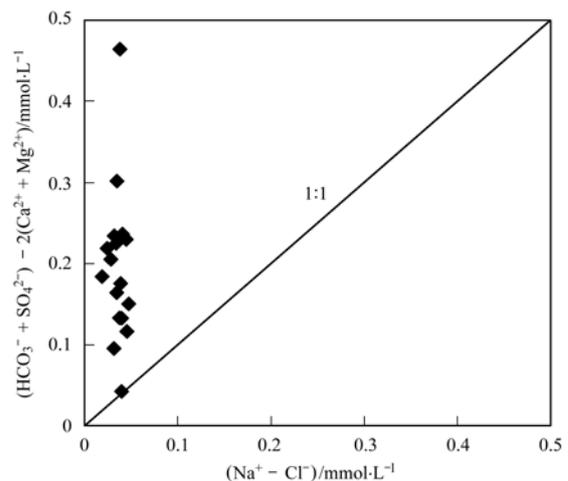


图 8 $(Na^+ - Cl^-)$ 与 $[(2SO_4^{2-} + HCO_3^-) - 2(Ca^{2+} + Mg^{2+})]$ 关系

Fig. 8 $(Na^+ - Cl^-)$ versus $[(2SO_4^{2-} + HCO_3^-) - 2(Ca^{2+} + Mg^{2+})]$ concentrations

然乌湖流域地表水受人类活动的影响较弱, 主要是自然状况下的水化学演化.

3.3 主要物质来源

Na^+ 主要来源于盐岩和硅酸盐岩的溶解, 而盐

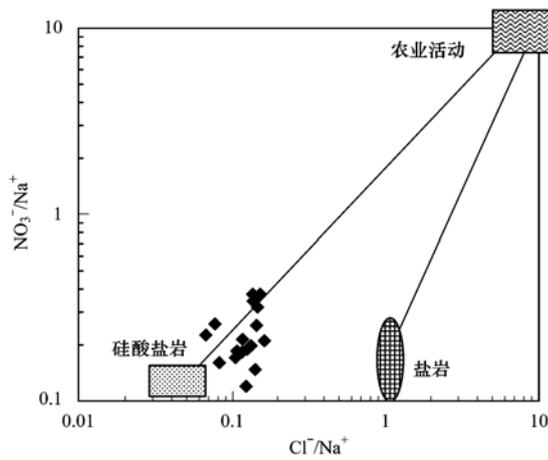
图9 Cl^-/Na^+ 和 $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ 比例关系

Fig. 9 Plots showing variations of Cl^-/Na^+ with $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ ratios

岩的溶解会释放出等浓度的 Na^+ 和 Cl^- [29], 然而然乌湖流域水样中的 Na^+ 和 Cl^- 浓度比值均远离 1:1 线, 且靠近 Na^+ 一边 (图 10), 说明 Na^+ 浓度高于 Cl^- 浓度, 还应该其它阴离子来平衡多出来的钠离子, 这说明钠离子还应该其它来源; Na^+/Cl^- 的浓度比值介于 6.6 ~ 14.7 之间, 这说明盐岩的溶解不是该区水样中 Na^+ 主要来源, 而硅酸盐岩的风化溶解则是钠离子的主要来源.

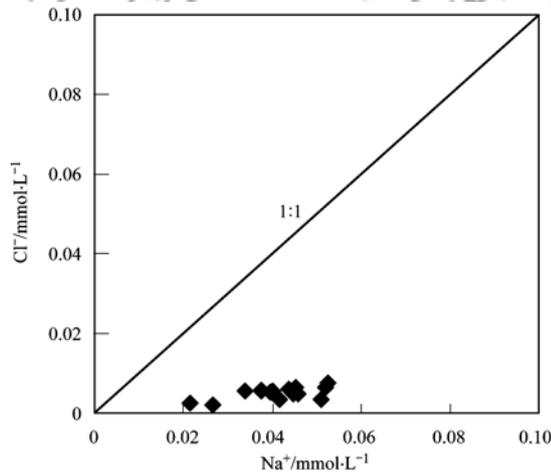
图10 Na^+ 和 Cl^- 关系

Fig. 10 Na^+ versus Cl^- concentrations

($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) 与 ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) 常用于研究流域尺度的水文地球化学过程, 可以判断该区水化学是否是碳酸盐岩或者石膏的溶解控制 [30,31]. 如果该区水样中的 ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) / ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) 的当量浓度比值为 1:1, 说明该区水化学受碳酸盐岩或石膏的溶解控制. 然乌湖水样中 ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) / ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) 的当量浓度比值均在 1:1 线上面, $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ 的当量浓度大于 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 的当量浓度 (图 11), 说明还应该其它的阳离子来平衡多出阴离子的量, 说明然乌湖水样中 HCO_3^- 还有其它

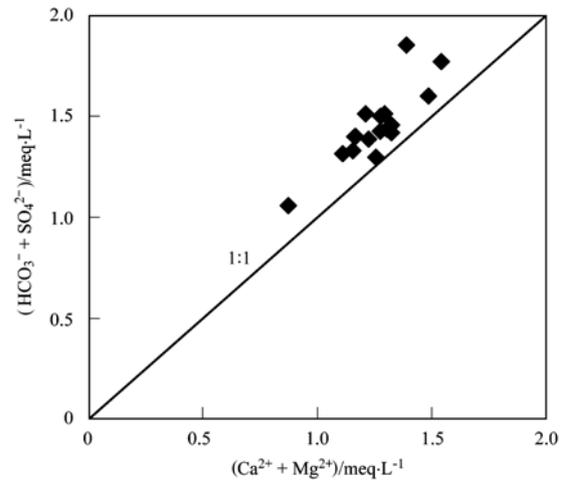
图11 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) 与 ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) 关系

Fig. 11 ($\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$) versus ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) concentrations

来源, 还有一部分来源于硅酸盐岩的溶解.

$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 的比值常用来揭示 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的来源, 如果 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 1$ 则表示来源于白云岩的溶解 [32], 若是 $1 < \text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} < 2$, 则表示有更多方解石的溶解, 当 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} > 2$ 时, 则表示有硅酸盐岩或石膏的溶解来提供 Ca^{2+} . 在然乌湖流域, 只有 1 个水样的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 1.93$, 其它水样的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 均大于 2 (图 12), 说明该区有硅酸盐岩或石膏的溶解.

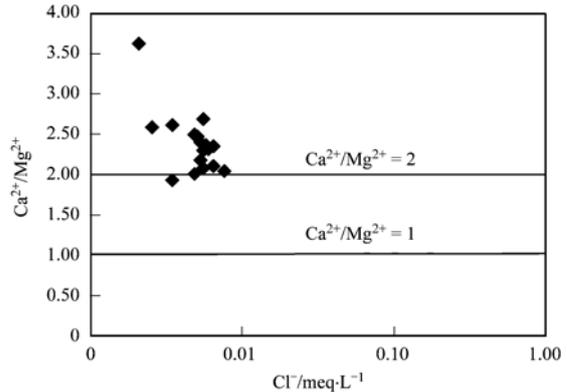
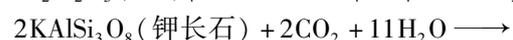
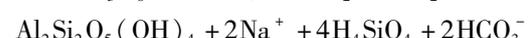
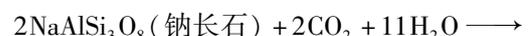
图12 然乌湖流域地表水中 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值

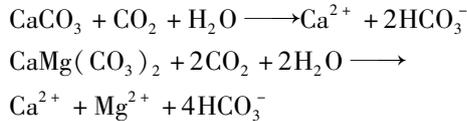
Fig. 12 Ratio of $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ in surface water within Ranwu Lake basin

Na^+ 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 都有着较强的相关关系, 这也说明 Na^+ 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 有着相同的来源, 说明都有部分来源于硅酸盐岩的溶解, 主要风化溶解过程如下:



HCO_3^- 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 有着显著的相关关系 (表 2), 相关系数分别为 0.655 ($P < 0.01$) 和 0.685 ($P <$

0.01), 这说明 HCO_3^- 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 有一定的同源性, 结合该然乌湖流域地质背景, 说明碳酸盐岩的风化溶解对 Ca^{2+} 与 HCO_3^- 有贡献, 反应过程如下:



4 结论

(1) 然乌湖流域地表水阳离子以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主, Ca^{2+} 当量浓度占阳离子总量的 63.3% ~ 76.2%, 均值为 67.2%, Mg^{2+} 当量浓度占阳离子总量的 23.4% ~ 36.2%, 均值为 31.4%, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 约占阳离子总量的 98.5%; 阴离子以 HCO_3^- 为主, 湖水离子当量浓度呈现 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$ 的关系, HCO_3^- 占阴离子总量的 74.31% ~ 84.29%, 均值为 78.21%, SO_4^{2-} 占阴离子总量的 9.59% ~ 19.37%, 二者约占阴离子总量的 93.55%。TDS 值为 59.89 ~ 96.75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均值为 79.98 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; pH 介于 7.54 ~ 8.48 之间, 均属于弱碱性水。

(2) 然乌湖流域地表水水化学类型以 HCO_3^- -Ca 和 HCO_3^- -Ca·Mg 型为主, 主要受到岩石的风化作用控制, 人类活动对水化学组分的影响较弱, 主要是自然状态下的水化学演化。

(3) Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 主要来源于白云岩等碳酸盐岩的风化溶解, Na^+ 和 K^+ 主要来源于长石类硅酸盐岩的风化溶解。

参考文献:

- [1] 寇永朝, 华琨, 李洲, 等. 泾河支流地表水地下水的水化学特征及其控制因素[J]. 环境科学, 2018, **39**(7): 3142-3149.
Kou Y C, Hua K, Li Z, *et al.* Major ionic features and their possible controls in the surface water and groundwater of the Jinghe River[J]. Environmental Science, 2018, **39**(7): 3142-3149.
- [2] 郭泌汐, 刘勇勤, 张凡, 等. 西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估[J]. 环境科学, 2016, **37**(2): 490-498.
Guo B X, Liu Y Q, Zhang F, *et al.* Characteristics and risk assessment of heavy metals in core sediments from lakes of Tibet[J]. Environmental Science, 2016, **37**(2): 490-498.
- [3] 魏兴, 周金龙, 乃尉华, 等. 新疆喀什三角洲地下水化学特征及演化规律[J]. 环境科学, 2019, **40**(9): 4042-4051.
Wei X, Zhou J L, Nai W H, *et al.* Hydrochemical characteristics and evolution of groundwater in the Kashgar Delta Area in Xinjiang[J]. Environmental Science, 2019, **40**(9): 4042-4051.
- [4] 何晓丽, 吴艳宏, 周俊, 等. 贡嘎山地区地表水化学特征及水环境质量评价[J]. 环境科学, 2016, **37**(10): 3798-3805.
He X L, Wu Y H, Zhou J, *et al.* Hydro-chemical characteristics and quality assessment of surface water in Gongga Mountain Region[J]. Environmental Science, 2016, **37**(10): 3798-3805.
- [5] 辛晓冬, 姚檀栋, 叶庆华, 等. 1980-2005 年藏东南然乌湖流域冰川湖泊变化研究[J]. 冰川冻土, 2009, **31**(1): 19-26.
Xin X D, Yao T D, Ye Q H, *et al.* Study of the fluctuations of glaciers and lakes around the Ranwu Lake of Southeast Tibetan Plateau using remote sensing[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, **31**(1): 19-26.
- [6] 崔颖颖, 朱立平, 鞠建廷, 等. 基于流量监测的西藏东南部然乌湖水量平衡季节变化及其补给过程分析[J]. 地理学报, 2017, **72**(7): 1221-1234.
Cui Y Y, Zhu L P, Ju J T, *et al.* Seasonal variations of water balance and supply process based upon discharge monitoring in Ranwu Lake of Southeast Tibet[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(7): 1221-1234.
- [7] 唐金平, 张强, 胡漾, 等. 浦江冲洪积扇地下水化学特征及控制因素分析[J]. 环境科学, 2019, **40**(7): 3089-3098.
Tang J P, Zhang Q, Hu Y, *et al.* Groundwater chemical characteristics and analysis of their controlling factors in an alluvial fan of Jianjiang River[J]. Environmental Science, 2019, **40**(7): 3089-3098.
- [8] Wu W H. Hydrochemistry of inland rivers in the north Tibetan Plateau: constraints and weathering rate estimation[J]. Science of the Total Environment, 2016, **541**: 468-482.
- [9] 关志华, 陈传友, 区裕雄, 等. 西藏河流与湖泊[D]. 北京: 科学出版社, 1984. 157-159.
Guan Z H, Chen C Y, Qu Y X, *et al.* Rivers and lakes in Tibet[D]. Beijing: Science Press, 1984. 157-159.
- [10] 鞠建廷, 朱立平, 黄磊, 等. 基于监测的藏东南然乌湖现代过程: 湖泊对冰川融水的响应程度[J]. 科学通报, 2015, **60**(1): 16-26.
Ju J T, Zhu L P, Huang L, *et al.* Ranwu Lake, a proglacial lake with the potential to reflect glacial activity in SE Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, **60**(1): 16-26.
- [11] 罗怀斌. 西藏然乌湖湿地自然保护区生物多样性及保护对策[J]. 中南林业调查规划, 2013, **32**(1): 38-41.
Luo H B. Biodiversity and protective countermeasures for Ranwu Lake wet land nature reserve of Tibet[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2013, **32**(1): 38-41.
- [12] 张艳, 吴勇, 杨军, 等. 阆中市思依镇水化学特征及其成因分析[J]. 环境科学, 2015, **36**(9): 3230-3237.
Zhang Y, Wu Y, Yang J, *et al.* Hydrochemical characteristic and reasoning analysis in Siyi Town, Langzhong City[J]. Environmental Science, 2015, **36**(9): 3230-3237.
- [13] 张强英, 布多, 吕学斌, 等. 西藏帕隆藏布江流域天然水的水化学特征[J]. 环境化学, 2018, **37**(4): 889-896.
Zhang Q Y, Bu D, Lyu X B, *et al.* Aquatic chemistry characteristics of natural water in the Parlung Zangbo River Basin, Tibet[J]. Environmental Chemistry, 2018, **37**(4): 889-896.
- [14] Li C Z, Li B H, Bi E P. Characteristics of hydrochemistry and nitrogen behavior under long-term managed aquifer recharge with reclaimed water: a case study in North China[J]. Science of the Total Environment, 2019, **668**: 1030-1037.
- [15] Cui B L, Li X Y. Runoff processes in the Qinghai Lake Basin, Northeast Qinghai-Tibet Plateau, China: insights from stable isotope and hydrochemistry[J]. Quaternary International, 2015, **380-381**: 123-132.
- [16] Wang W H, Wu T H, Zhao L, *et al.* Hydrochemical characteristics of ground ice in permafrost regions of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Science of the Total Environment, 2018, **626**: 366-376.

- [17] Qi H H, Ma C M, He Z K, *et al.* Lithium and its isotopes as tracers of groundwater salinization: A study in the southern coastal plain of Laizhou Bay, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **650**: 878-890.
- [18] 董维红, 孟莹, 王雨山, 等. 三江平原富锦地区浅层地下水水化学特征及其形成作用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2017, **47**(2): 542-553.
Dong W H, Meng Y, Wang Y S, *et al.* Hydrochemical characteristics and formation of the shallow groundwater in Fujin, Sanjiang Plain [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2017, **47**(2): 542-553.
- [19] Li Z J, Yang Q C, Yang Y S, *et al.* Isotopic and geochemical interpretation of groundwater under the influences of anthropogenic activities [J]. *Journal of Hydrology*, 2019, **576**: 685-697.
- [20] Jasrotia A S, Taloor A K, Andotra U, *et al.* Monitoring and assessment of groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in the Cenozoic rocks of Jammu Himalaya, India; a geospatial technology based approach [J]. *Groundwater for Sustainable Development*, 2019, **8**: 554-566.
- [21] Zhao G, Li W, Li F, *et al.* Hydrochemistry of waters in snowpacks, lakes and streams of Mt. Dagu, eastern of Tibet Plateau [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **610-611**: 641-650.
- [22] Wu Y, Gibson C E. Mechanisms controlling the water chemistry of small lakes in northern Ireland [J]. *Water Research*, 1996, **30**(1): 178-182.
- [23] 张涛, 何锦, 李敬杰, 等. 蛤蟆通河流域地下水化学特征及控制因素 [J]. *环境科学*, 2018, **39**(11): 4981-4990.
Zhang T, He J, Li J J, *et al.* Major ionic features and possible controls in the groundwater in the Hamatong River Basin [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(11): 4981-4990.
- [24] Jiang L G, Yao Z J, Liu Z F, *et al.* Hydrochemistry and its controlling factors of rivers in the source region of the Yangtze River on the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, **155**: 76-83.
- [25] Thomas J, Joseph S, Thirvikramji K P. Hydrochemical variations of a tropical mountain river system in a rain shadow region of the southern Western Ghats, Kerala, India [J]. *Applied Geochemistry*, 2015, **63**: 456-471.
- [26] 王晓曦, 王文科, 王周锋, 等. 滦河下游河水及沿岸地下水水化学特征及其形成作用 [J]. *水文地质工程地质*, 2014, **41**(1): 25-33, 73.
Wang X X, Wang W K, Wang Z F, *et al.* Hydrochemical characteristics and formation mechanism of river water and groundwater along the downstream Luanhe River, northeastern China [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2014, **41**(1): 25-33, 73.
- [27] Xiao J, Jin Z D, Zhang F. Geochemical controls on fluoride concentrations in natural waters from the middle Loess Plateau, China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, **15**: 252-261.
- [28] Fan B L, Zhao Z Q, Tao F X, *et al.* Characteristics of carbonate, evaporite and silicate weathering in Huanghe River basin: a comparison among the upstream, midstream and downstream [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, **96**: 17-26.
- [29] Fu C C, Li X Q, Ma J F, *et al.* A hydrochemistry and multi-isotopic study of groundwater origin and hydrochemical evolution in the middle reaches of the Kuye River basin [J]. *Applied Geochemistry*, 2018, **98**: 82-93.
- [30] Maurya P, Kumari R, Mukherjee S. Hydrochemistry in integration with stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) to assess seawater intrusion in coastal aquifers of Kachchh district, Gujarat, India [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2019, **196**: 42-56.
- [31] Ayadi Y, Mokadem N, Besser H, *et al.* Hydrochemistry and stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$) tools applied to the study of karst aquifers in southern mediterranean basin (Teboursouk area, NW Tunisia) [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2018, **137**: 208-217.
- [32] Xiao J, Jin Z D, Zhang F, *et al.* Major ion geochemistry of shallow groundwater in the Qinghai Lake catchment, NE Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, **67**(5): 1331-1344.

CONTENTS

Characterization of Two Heavy Pollution Episodes in Tianjin in 2020	XIAO Zhi-mei, XU Hong, CAI Zi-ying, <i>et al.</i> (3879)
Analysis of Characteristics of Water-soluble Ions in PM _{2.5} in Chengdu Based on the MARGA	YIN Han-mei, CHEN Jun-hui, FENG Xiao-qiong, <i>et al.</i> (3889)
Seasonal Characteristics and Source Analysis of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} in Suqian City	MA Hong-lu, ZHAO Xin, LU Jian-gang, <i>et al.</i> (3899)
Characterization and Size Distribution of Carbonaceous Aerosols at Mountain Dinghu	LI An-na, WEN Tian-xue, HUA Wei, <i>et al.</i> (3908)
Characteristics and Source Apportionment of Carbon Components in Road Dust in Anshan	LIN Zi, JI Ya-qin, LIN Yu, <i>et al.</i> (3918)
Spectral Characteristics and Source Analysis of WSOC of PM _{2.5} in Winter of Xi'an	YANG Yi, ZHANG Ya-nan, LIU Huan-wu, <i>et al.</i> (3924)
Observation of Aerosol Optical Properties and New Particle Formation in the Yangtze River Delta	DU Ying-ying, CHEN Jun, ZHANG Jia-luo, <i>et al.</i> (3932)
Component Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Lianyungang City	CUI Jin-meng, WANG Ti-jian, LI Qiu-tong, <i>et al.</i> (3941)
Seasonal Pollution Characteristics and Analysis of the Sources of Atmospheric VOCs in Chengdu Urban Area	WANG Cheng-hui, CHEN Jun-hui, HAN Li, <i>et al.</i> (3951)
Ozone Sensitivity Analysis and Emission Controls in Dezhou in Summer	YAN Ru-sha (3961)
Inventory and Distribution Characteristics of China's Thermal Power Emissions Under Ultra-Low Reconstruction	QU Jia-bao, WANG Peng, BO Xin, <i>et al.</i> (3969)
Establishment and Spatial Distribution of Anthropogenic Ammonia Emission Inventory in Zhejiang Province	ZHAO Rui-dong, YU Xing-na, HOU Xin-hong, <i>et al.</i> (3976)
Evaluation and Screening of Dioxin Control Technology in Waste Incineration Flue Gas	ZHAO Si-lan, XI Peng-fei, GUO Feng-yan, <i>et al.</i> (3985)
Characteristics of Stable Isotopes and Moisture Sources of Two Typical Precipitation Events in Lanzhou City	HAN Ting-ting, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i> (3993)
Hydrochemical Characteristics and Possible Controls of the Surface Water in Ranwu Lake Basin	ZHANG Tao, WANG Ming-guo, ZHANG Zhi-yin, <i>et al.</i> (4003)
Chemical Evolution and Formation Mechanism of Groundwater in Hetao Irrigation Area	CUI Jia-qi, LI Xian-yue, SHI Hai-bin, <i>et al.</i> (4011)
Chemical Characteristics of Groundwater and Material Sources Analysis in Shiqi River Basin	LI Xiao, YU Shi, LI Liang, <i>et al.</i> (4021)
Spatial-temporal Variations and Driving of Nitrogen and Phosphorus Ratios in Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	JI Peng-fei, XU Hai, ZHAN Xu, <i>et al.</i> (4030)
Spatiotemporal Variations in Nutrient Loads in River-lake System of Changdang Lake Catchment in 2016-2017	LI Xin-yan, LI Heng-peng, JIANG San-yuan, <i>et al.</i> (4042)
Influence of <i>Potamogeton crispus</i> on Lake Water Environment and Phytoplankton Community Structure	KANG Li-juan, XU Hai, ZOU Wei, <i>et al.</i> (4053)
Phylogenetic Processes and Key Driving Factors of Bacterial Communities in Jinze Reservoir	LIU Ming-kun, TONG Jun, ZHU Hui-feng, <i>et al.</i> (4062)
Distribution Characteristics of Per-/polyfluoralkyl Substances in River Sediments Around Typical Fluorine Industrial Parks	SUN Lin-ting, ZHAO Zhen, TANG Jian-hui (4069)
Microplastics-Induced Shifts of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in River Water	ZHOU Xin-yuan, WANG Yan-zi, SU Jian-qiang, <i>et al.</i> (4076)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics in Lianhua Reservoir	LIAO Jie, WEI Xiao-qin, XIAO Yan-qin, <i>et al.</i> (4081)
Intraspecific Variation in Growth and Alkaline Phosphatase Activity of <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> Strains in Response to Different Phosphorus Concentrations and Sources	YE Jin-mei, ZHAO Li, LUO Xu, <i>et al.</i> (4088)
Simulation of Water Quality Response of Guishui River Wetland Plants and Water Diversion	LI Ya-juan, DU Yan-liang, BI Er-ping, <i>et al.</i> (4095)
Performance Assessment of Field-scale Dry Grass Swale with Shallow Substrate Layer	ZHANG Jia-wei, LI Tian, ZHANG Ting-xiu (4105)
Transition of Particulate Pollutant in the Parcel-based Catchment of Sponge City	LI Jia, XIE Wen-xia, JIANG Zhi-hui, <i>et al.</i> (4113)
Adsorption of Sb(V) in Water by Natural Pyrite: Performance and Mechanism	SHI Song, WU Qian-yuan, LI Xin-zheng, <i>et al.</i> (4124)
Treatment of Wastewater Containing Naphthalene Sulfonic Acid by Persulfate Oxidation	ZHANG Jin-men, LU Jun, LIU Xiao-chen, <i>et al.</i> (4133)
Effect of Temperature on Performance and Microbial Community Structure of Anaerobic Biofilter-Treated Domestic Wastewater	LIU Zhi-bin, LIU Xiu-hong, ZHOU Tong, <i>et al.</i> (4141)
Start-up and Optimization of Denitrifying Phosphorus Removal in ABR-MBR Coupling Process	MIAO Xin-nian, WANG Qian, GUO Kai-cheng, <i>et al.</i> (4150)
Adaptability of Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Granular Sludge to Low-Strength at Low Temperature	LIU Yu-xin, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (4161)
Discussion on Key Issues of Geochemical Monitoring of Soil Heavy Metal in Xiongan New District	GUO Zhi-juan, ZHOU Ya-long, YANG Zheng, <i>et al.</i> (4169)
Quantitative Assessment of Human Health Risks Based on Soil Heavy Metals and PAHs Sources: Take a Polluted Industrial Site of Beijing As an Example	WU Zhi-yuan, ZHANG Li-na, XIA Tian-xiang, <i>et al.</i> (4180)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals at Township Scale in the High Background of Heavy Metals, Southwestern, China	ZHANG Fu-gui, PENG Min, WANG Hui-yan, <i>et al.</i> (4197)
Potential of Accumulation and Application of Dominant Plants in Lanping Lead-zinc Mine, Yunnan Province	ZHANG Long, ZHANG Yun-xia, SONG Bo, <i>et al.</i> (4210)
Key Growth Stage of Pb Accumulation in Rice Through a Hydroponic Experiment with Pb Stress	HU Yu-dan, ZHOU Hang, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (4218)
Effect of Nutrient Regulation and Control on Cd Accumulation Efficiency of <i>Hylotelephium spectabile</i> Under Field Conditions	GUO Jun-mei, YANG Jun-xing, YANG Jun, <i>et al.</i> (4226)
Effects of <i>Eucalyptus</i> Branches Biochar Application on Soil Physicochemical Properties of Acidified Soil in a <i>Eucalyptus</i> plantation in Northern Guangxi	DAUN Chun-yan, SHEN Yu-yi, XU Guang-ping, <i>et al.</i> (4234)
Dynamic Effects of Direct Returning of Straw and Corresponding Biochar on Acidity, Nutrients, and Exchangeable Properties of Red Soil	YANG Cai-di, LU Sheng-gao (4246)
Different Responses of Soil Microbial Community Structure to Irrigation with Treated Wastewater from Domestic and Industrial Sources	WANG Yan, CHENG Dong-hui, TAN Wen-bing, <i>et al.</i> (4253)
Effects of Manure and Organic Fertilizer Application on Soil Microbial Community Diversity in Paddy Fields	LI Peng, WU Jian-qiang, SHA Chen-yan, <i>et al.</i> (4262)
Effects of Land Use Changes on Soil Bacterial Community Diversity in the Riparian Wetland Along the Downstream of Songhua River	ZHANG Tuo, XU Fei, HUAI Bao-dong, <i>et al.</i> (4273)
Response of Soil Bacterial Community Structure to Precipitation Change in Grassland of Loess Plateau	LI Na, WANG Bao-rong, AN Shao-shan, <i>et al.</i> (4284)
Effect of Land-use on Soil Fungal Community Structure and Associated Functional Group in Huixian Karst Wetland	CHENG Yue-yang, JIN Zhen-jiang, WANG Xiao-tong, <i>et al.</i> (4294)
Interactions of Fungi Community and Relationship with the Carbon Structure in Arable Mollisols with Gradient Organic Matter Content	SHANG Qiu-tong, HUANG Rui-lin, NI Hao-wei, <i>et al.</i> (4305)
Diversity of Soil Eukaryotic Microbes in Different Succession Stages in Maolan Karst Forest of Guizhou	WANG Xian, LONG Jian, LI Juan, <i>et al.</i> (4314)
Adsorption of Cadmium and Arsenic by Corn Stalk Biochar Solidified Microorganism	LIU Yu-ling, ZHU Hu-cheng, PENG Ou, <i>et al.</i> (4322)
Mechanism of Inorganic Nitrogen Transformation and Identification of Nitrogen Sources in Water and Soil	LIANG Xing, SUN Li-qun, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (4333)