

目次

基于机器学习方法研究气象及排放变化对长三角地区主要城市大气污染物的影响	付文星, 黄琳, 丁嘉豪, 秦墨梅, 于兴娜, 谢放尖, 胡建林 (5879)
不同行业减排对我国东部地区空气质量及大气温度的影响	龙籽谕, 朱佳, 李柯, 陈磊, 杜楠, 廖宏 (5889)
冬奥会期间京津冀及周边区域空气质量时空特征、气象影响和减排效果评估	侯露, 朱媛媛, 刘冰, 李健军 (5899)
中国印刷业 VOCs 排放趋势及未来减排潜力	梁小明, 吴彭珍, 陈来国, 刘明, 卢清, 朱李华, 孙西勃, 叶代启 (5915)
济南市典型行业 VOCs 排放特征及减排潜力分析	吴文璐, 单春艳, 赵菁林, 崔羽浓 (5924)
南京市溧水区大气挥发性有机物污染特征及来源解析	阮兆元, 燕鸥, 王体健, 王勤耕, 罗干, 文金科 (5933)
我国近 10 年城市生活垃圾处置单元温室气体排放时空变化及减排潜能分析	张昕雪, 高淑丹, 滕晓, 蒋旭彤, 陈纪宏, 高晨琦, 卞荣星, 孙英杰, 李卫华, 王亚楠, 王华伟 (5946)
中国重点城市大气污染与健康风险的时空分布特征	涂佩玥, 杨欢, 陈兰洲, 牛笑笑, 杨璐, 易嘉慧, 柯碧钦, 田雅, 叶志祥, 梅新, 洪松, 何超 (5954)
中国 PM ₁ 浓度时空特征及其与 AOD 的相关性分析(2014~2017 年)	袁丽梅, 马芳芳, 卞泽, 秦凯 (5964)
长株潭城市群 PM _{2.5} 中二次无机离子特征及生成机制	马杰利, 罗达通, 刘欣, 王蕾, 王幸, 刘湛, 沈健, 张俊丰, 李晟 (5975)
周口市 2022 年冬季重污染过程中细颗粒物污染特征及成因分析	马英歌, 杨露, 狄睿苗, 马南, 乔利平, 吴宇航, 周文鑫, 赵新华, 张越, 孙志华, 陈长虹, 陈学军, 楼晟荣, 黄成 (5986)
兰州市 PM _{2.5} 中多环芳烃的污染特征和来源解析	马可婧, 孙丽娟 (5997)
北京市门头沟区大气降尘污染特征及其化学组分特征与质量重构	王志焱, 姚琦, 吕富, 王雨薇, 王珊, 王铮, 胡月琪 (6007)
典型热带海滨城市臭氧污染特征与成因分析	韩淑艳, 张鑫, 谢荣富, 霍思思, 高利澳, 吴泓锦, 党娟, 徐文帅, 邢巧, 张庆竹, 王文兴 (6015)
珠江源块泽河流域地表水水化学特征及控制因素	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 (6025)
淮南煤矿区地表水和地下水水化学特征及控制因素	刘海, 康博, 管政亭, 宋阳, 柴义伦 (6038)
巴伊盆地平原区地下水水化学特征及污染源识别	姜凤, 周金龙, 周殷竹, 孙英, 韩双宝, 鲁涵 (6050)
滇池周边浅层地下水硝酸盐来源及转化过程识别	陈清飞, 陈安强, 崔荣阳, 叶远行, 闵金恒, 付斌, 闫辉, 张丹 (6062)
典型铅锌矿流域土壤重金属累积与分布的影响因素分析	潘泳兴, 陈盟, 王樯樯 (6071)
铅锌矿周边岩溶流域重金属污染及健康风险评价	廖红为, 蒋忠诚, 周宏, 覃小群, 黄奇波, 吴华英 (6085)
开封市主要河道沉积物重金属时空分布特征及生态风险评价	丁亚鹏, 卢希昊, 王晓婧, 武鲲鹏, 张浩杰, 李欢, 付贤志, 王洪涛 (6095)
霍邱县城湖泊沉积物重金属环境容量评价与预测	刘海, 魏伟, 宋阳, 潘杨 (6106)
基于宏条形码技术的白洋淀水华藻类识别及其驱动因子分析	陈婷, 杜珣, 陈义永, 郭道宇, 熊薇 (6116)
基于种群、功能群对比分析洞庭湖浮游植物群落驱动因素及水质评价	严广寒, 殷雪妍, 汪星, 黄民生, 黄代中, 王思瑞, 张韵宇 (6125)
南水北调东线山东境内调蓄湖库蓝藻种群分布特征及环境驱动因子	韦洁琳, 崔玉静, 李亦真, 张莎莎, 徐杭州, 庞一鸣, 裴海燕 (6137)
广东省药物活性化合物的污染特征及生态风险评价	罗嘉豪, 王煜凯, 原珂, 卢耀斌, 罗丽娟, 栾天罡 (6149)
紫外老化微塑料衍生 DOM 理化特性及其与磺胺嘧啶、铜的络合机制	王筱, 晏彩霞, 聂明华, 莫茜婷, 丁明军, 徐鳌雪, 邓思维 (6159)
共混塑料在海水中的光降解及海洋环境风险	张洪瑜, 高嘉蔚, 陈思宝, 林千惠, 葛安琪, 赵莎莎, 郑浩, 李锋民 (6172)
铁改型蓝藻生物炭的制备及对地表水中磷的协同吸附机制	韩杰, 黄鑫, 杨昆仑, 宋超凡, 缪恒锋 (6181)
基于改进输出系数模型的非点源污染评估及关键源区识别: 以北运河上游流域为例	李华林, 张守红, 于佩丹, 宋卓远, 谢晨新, 张建军 (6194)
农村黑臭水体沉积物细菌群落结构特征	任宏伟, 田彦芳, 路金霞, 石雅君, 王进, 岳正波, 刘晓玲 (6205)
气候变化背景下人类活动对承德坝区植被净初级生产力的影响	单振东, 刘顿, 骆汉, 刘建伟, 张丽梅, 魏宇航 (6215)
氮沉降对陆地生态系统土壤有机碳含量影响的 Meta 分析	杨灵芳, 孔东彦, 刁静文, 郭鹏 (6226)
生物炭施用 5 a 后对桂北桉树人工林土壤有机氮组分和活性氮的影响	曹杨, 沈育伊, 陈运霜, 王紫卉, 牟芝熠, 徐广平, 张德楠, 孙英杰, 毛馨月 (6235)
稻田微氧层和还原层土壤有机碳矿化对氮素添加的响应	毛婉琼, 夏银行, 马冲, 朱光旭, 王忠诚, 涂强, 陈香碧, 吴金水, 苏以荣 (6248)
保护性耕作对玉米田土壤中除草剂残留的影响	刘沅, 汪祖丞, 刘美华, 张天宇, 王健 (6257)
土壤中微塑料对陆生植物的毒性及其降解机制研究进展	刘微, 李宇欣, 荣飒爽, 汪晚晴, 王鑫鑫, 郭嘉朋, 韩冰, 王树涛 (6267)
南水北调丹江口库区土壤中微塑料分布特征及风险评估	王峰, 公玮, 刘哲, 朱重宁, 张润琴, 李志国, 刘毅 (6279)
北京市城市公园土壤铅累积特征、来源及健康风险	安江梅朵, 张瑞卿, 郭广慧, 王云涛 (6287)
锌冶炼废渣重金属在地块土壤中的垂向迁移特征及归趋	杨爱萍, 王小燕, 肖细元, 王倩如, 胡建华, 郭朝晖, 彭驰 (6297)
典型硫铁矿农区土壤-作物系统重金属生态风险及迁移富集特征	成晓梦, 赵辰, 吴超, 孙彬彬, 曾道明, 贺灵 (6309)
不同土壤-小麦体系中铅镉交互作用与转运特征	寇萌, 樊宇, 苏梦贤, 熊娟, 汪明霞, 谭文峰 (6319)
开花后小麦地上部镉、砷分布及其转运特征	王秋实, 华桂丽, 李翔宇, 冯柳旭, 唯康鑫, 耿丽平, 薛培英, 刘文菊 (6328)
黑河上游不同植被类型土壤细菌群落多样性、功能及季节动态	王竹, 刘扬, 王芳, 王义成 (6339)
典型煤炭产业园区土壤重金属污染对细菌群落结构的影响	郑丹凤, 刘娣, 苏超, 张红 (6354)
增氧模式对水稻根际微生物多样性和群落结构的影响	肖德顺, 徐春梅, 王丹英, 陈松, 褚光, 刘元辉 (6362)
紫色土硝化势和氨氧化微生物群落对化肥和有机肥配施生物炭的响应	李越, 王子芳, 贾丽娟, 谢军, 熊子怡, 高明 (6377)
连作对参根际土壤理化性质、微生物活性及群落特征的影响	杨阳, 李海亮, 马凯丽, 虞凡枫, 牛世全 (6387)
粪肥施用对抗生素在土壤上吸附的影响	罗珊, 胡锦昇, 唐翔宇, 耿春文, 程建华 (6399)
基于脱钩指数的工业园区碳排放与经济发展关系	陈四瑜, 刘晶茹, 孙光明 (6412)
近 5 年我国部分城市人群生活垃圾特性	王小波, 刘安琪, 钟慧琼, 赵增立 (6421)
《环境科学》征订启事(5963) 《环境科学》征稿简则(6193) 信息(5923, 6024, 6037)	

淮南煤矿区地表水和地下水水化学特征及控制因素

刘海¹, 康博^{2*}, 管政亭¹, 宋阳¹, 柴义伦³

(1. 安徽省公益性地质调查管理中心, 合肥 230091; 2. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230041; 3. 安徽省地质环境监测总站, 合肥 230001)

摘要:为厘清淮南矿区地表水和地下水水化学特征和控制因素,采集115组地下水和30组地表水样品,基于数理统计、Piper三线图、Gibbs图、矿物稳定场图和离子比例系数等方法,分析了淮南煤矿区地表水和地下水的水文地球化学特征,研究了其水化学特征演变规律.结果表明,淮南煤矿区地下水和地表水呈弱碱性,地表水和地下水中优势阴阳离子为 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 和 Na^+ . HCO_3^- -Ca型和 HCO_3^- -Ca·Na·Mg型为地表水和地下水的主要水化学类型.地下水和地表水的水化学特征主要受岩石风化作用控制,阳离子交替吸附和蒸发对其有一定的促进作用.水岩作用以硅酸盐和碳酸盐矿物的溶解为主,碳酸盐岩的溶解制约 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 等离子的变化.地表水和地下水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 Ca^{2+} 受人类活动造成的外源输入影响.淮南煤矿区地下水和地表水水化学组分受到水岩相互作用和人类活动的双重影响,且地下水受人类活动影响较大.

关键词:淮南煤矿区; 地下水; 水文地球化学特征; 水岩作用; 控制因素

中图分类号: X143 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2023)11-6038-12 DOI: 10.13227/j.hjxx.202210277

Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Surface Water and Groundwater in Huainan Coal Mine Area

LIU Hai¹, KANG Bo^{2*}, GUAN Zheng-ting¹, SONG Yang¹, CHAI Yi-lun³

(1. Public Geological Survey Management Center in Anhui Province, Hefei 230091, China; 2. College of Resources and Environment Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230041, China; 3. Geo-environment Monitoring Station of Anhui Province, Hefei 230001, China)

Abstract: To clarify the hydrochemical characteristics and control factors of surface and underground water in Huainan mining area, 115 groups of groundwater and 30 groups of surface water samples were collected, and the hydrogeochemical characteristics of surface water and groundwater in Huainan mining area were analyzed. Additionally, the hydrochemistry evolution law was discussed by comprehensively using mathematical statistics, the Piper triangular diagram, Gibbs diagram, mineral stability field diagram, and ion ratio relationship, etc. The results showed that the groundwater and surface water in the study area were weakly alkaline, the dominant anion was HCO_3^- , and the dominant cations were Ca^{2+} and Na^+ . The hydrochemical types of groundwater and surface water were dominated by HCO_3^- -Ca type and HCO_3^- -Ca·Na·Mg type, respectively. The hydrochemical composition of groundwater and surface water was mainly controlled by rock weathering, as well as by alternating adsorption of cations and evaporation concentration. Silicate and carbonate minerals were mainly dissolved in the water-rock interaction. The main ions such as Ca^{2+} , Mg^{2+} , and HCO_3^- came from the dissolution of carbonate rocks. The Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , and Ca^{2+} were affected by exogenous inputs caused by human activities. The chemical components of groundwater and surface water in Huainan coal mining area were affected by water-rock interactions and human activities, and groundwater was greatly affected by human activities.

Key words: Huainan coal mine area; groundwater; hydrogeochemical characteristics; water-rock interaction; controlling factors

地下水和地表水是区域水文循环的重要组成部分,水资源是居民饮用、农业灌溉和工业生产等重要来源^[1].但受全球气候变化、城镇化高速发展和人类生产活动等多重因素的影响^[1~4],地下水和地表水环境正遭受严峻挑战,水资源与环境问题日益严重.因此,弄清地下水和地表水化学特征、形成演化机制,对水资源开发利用的具有重要意义^[5].以往的研究发现,地下水和地表水水化学形成受地质构造、地层岩性、气候环境和人类活动等多种因素的共同影响^[6~10],开展地下水和地表水化学特征和控制因素研究,厘定地下水和地表水的赋存环境、径流途径和物质交换等重要信息,可以揭示地下水和地表水的起源和形成演化机制^[11].

结合水文地质学、水文地球化学理论和水岩相互作用等理论,采用数理统计分析,描绘Piper三线图、Gibbs图、Na端元图和离子比例系数图等手段,

可以清晰地揭示地下水和地表水的起源和控制因素^[12~16].近年来,自组织映射神经网络(SOM)、聚类分析等机器学习分析方法也逐渐被用到地下水和地表水形成和演化的研究当中,具有较好的应用前景^[17,18].淮南煤矿区位于淮南煤田东部,主体位于淮河中游南岸及其东部(图1).目前,淮南煤矿区地下水关注重点在煤矿开采深层地下水^[19~22].如汪子涛等^[20]研究了淮南煤田主要突水含水层的水化学空间分布及其形成作用;黄望望等^[21]研究了淮南新集矿区砂岩水和太灰水的离子组分和演化特征.前人的研究成果为深层水害防治提供强有力的理论和实践依据.

收稿日期: 2022-10-25; 修订日期: 2023-01-10

基金项目: 安徽省自然资源厅公益性地质调查项目(2022-g-1-16)

作者简介: 刘海(1984~),男,博士,主要研究方向为地下水水文地球化学, E-mail: 103304365@qq.com

* 通信作者, E-mail: kangbo13@mails.jlu.edu.cn

关于淮南煤矿区浅层地下水或地表水等方面的研究较少,尤其缺乏淮南煤矿矿区地表水和地下水水化学特征及控制因素等方面的系统研究.研究区水资源主要来源于地下水和地表水,目前研究成果不足以支撑地下水的开发利用和保护.鉴于此,根据研究区水文地质条件,基于水文地球化学理论,采用数理统计、图解法和离子比值等手段,以淮南煤矿区地下水和地表水为研究对象,阐明其水化学特征和演化机制,以期为煤矿区地下水和地表水资源合理开发利用和保护提供科学依据.

1 研究区概况

淮南煤矿区行政区域涉及安徽省淮南、阜阳和蚌埠共3市5区3县(图1),矿区面积约2 800 km².煤矿区位于我国南北气候过渡带,年平均温度11~14℃,多年平均降雨量600~1 400 mm,多年平均蒸

发量800~1 200 mm^[23].区内地表水体发育,较大的河流主要为淮河及其支流颍河、泥河、西淝河和黑河等,均属淮河水系.地处淮河中下游以北,属淮河冲积平原,地势平坦,自西北向东南缓倾.

淮南煤矿区内分布有煤炭、煤层气和地热等能源矿产,此外,石灰岩、白云岩和高岭土等非金属建材与化工矿产等矿产资源均有分布.研究区地层属华北地层大区晋冀鲁豫地层区徐淮地层分区淮南地层小区,除中元古界、志留系、泥盆系、石炭系下统、三叠系的中上统和侏罗系缺失外,其余地层均有不同程度的发育^[23].

研究区含水系统包括松散岩类孔隙含水系统、碳酸盐岩裂隙岩溶含水系统和碎屑岩类孔隙裂隙含水系统(图2).其中松散岩类孔隙含水系统由第四系和新近系松散堆积物组成,富水性较好;碳酸盐岩裂隙岩溶含水系统由寒武系、奥陶系和石炭系碳酸盐岩组成,富水性较好;碎屑岩类孔隙裂隙含水系统

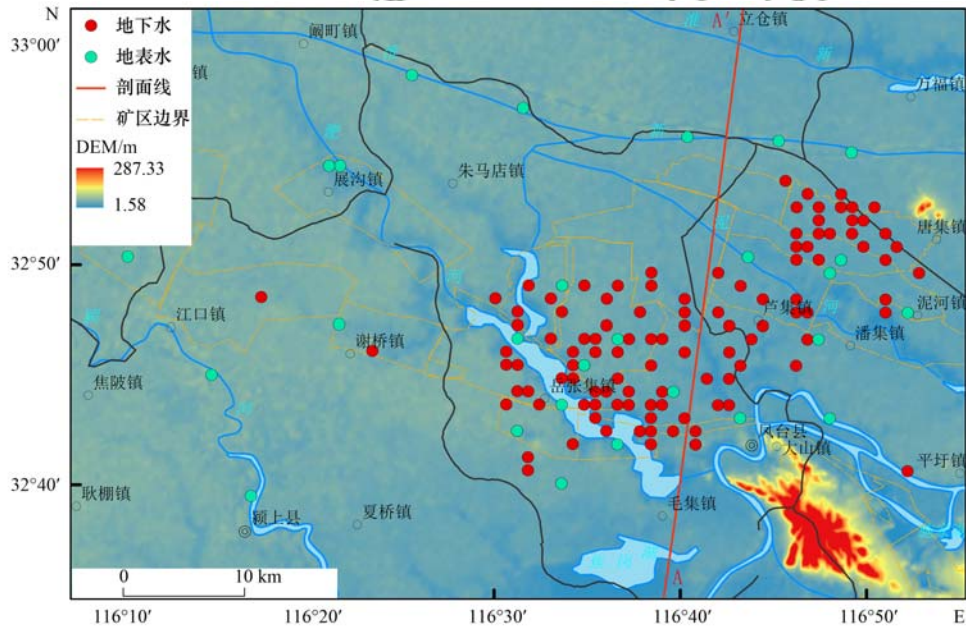


图1 研究区采样点位置示意

Fig. 1 Location of the sampling points in the study area

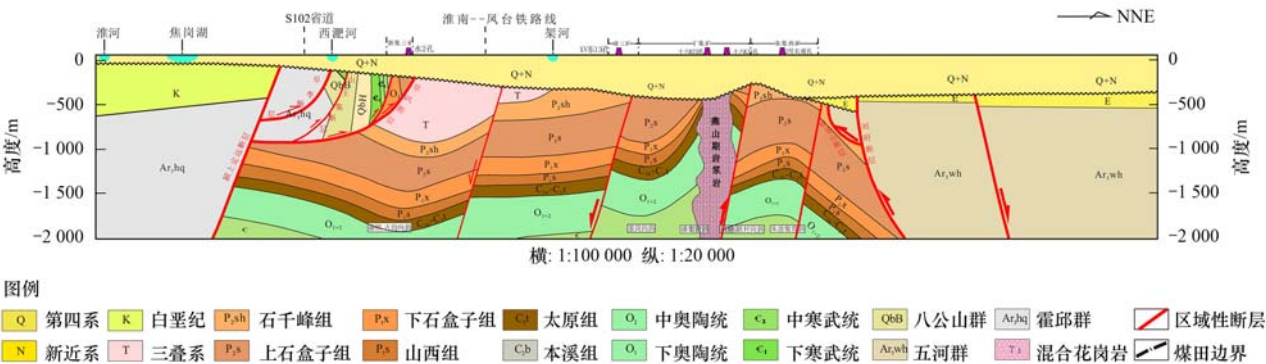


图2 研究区A-A'水文地质剖面

Fig. 2 A-A' hydrogeological profile of the study area

统由石炭和二叠纪的碎屑岩组成,岩性以泥岩、砂岩和页岩等组成,富水性较差^[23]。地下水接受大气补给,淮河为最低排泄。

2 材料与方法

2.1 样品采集与测试

2016年10~11月在淮南煤矿区采集水样品145组,其中地下水水样115组,地表水水样30组(图1)。地下水样品取自研究区住户的供水井和农田灌溉井等,井深7~50 m;地表水样品主要取自煤矿区周边的河流或湖泊。

使用SD150型便携式多参数水质测试仪现场测定pH和TDS等参数。每组样品用两个聚乙烯塑料瓶采集,采集前用离子水冲洗样品瓶至少3次。测定水样中阳离子浓度的水样瓶体积为500 mL,并在其中加入1:1硝酸溶液以保证瓶内pH<2。测定阴离子浓度的水样瓶体积为1 000 mL,不做1:1硝酸处理。水样品采集后24 h内送实验室进行测试。所有测试均在国土资源部合肥矿产资源监督检测中心完成。

阳离子 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等采用电感耦合等离子体光谱仪(ICAP 6300Duo)测试。阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 等使用离子色谱仪(Dionex-2500)检测; HCO_3^- 采用滴定法测定; H_2SiO_3 采用分光光度法测定。所有离子的检测限为 $0.01\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其测定误差一般低于0.1%。

2.2 数据处理

运用ArcGIS 10.8软件绘制地下水采样点分布图,基于SPSS 26.0开展地下水水化学数据多变量统计分析,采用Origin 2021绘制Piper三线图、Gibbs图、矿物稳定场图和离子比例图等相关图件。

3 结果与讨论

3.1 地下水和地表水水化学特征

3.1.1 主要离子水化学特征

研究区地下水pH值介于7.27~8.26之间(表1),均值为7.74,整体呈弱碱性; $\rho(\text{TDS})$ 在204.98~1 278.12 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,均值568.75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,属淡水。各溶质组分浓度大小关系为: $HCO_3^- > Ca^{2+} > Cl^- > Na^+ > SO_4^{2-} > H_2SiO_3 > Mg^{2+} > NO_3^- > K^+$,阴离子以 HCO_3^- 为主,占阴离子总量的质量分数为75.22%,其次为 Cl^- 和 SO_4^{2-} ;阳离子以 Ca^{2+} 为主,占阳离子总量的质量分数为51.47%,其次为 Na^+ 。地表水呈弱碱性,pH值在7.83~8.58之间,均值为8.14; $\rho(\text{TDS})$ 整体与地下水差别不大,同属淡水,介于243.96~1 029.66 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,均值558.54 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;各溶质组分浓度关系与地下水存在偏差,大小表现为: $HCO_3^- > Na^+ > Cl^- > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > H_2SiO_3 > K^+ > NO_3^-$,阴离子以 HCO_3^- 为主,占阴离子总量的质量分数为57.62%,其次为 Cl^- 和 SO_4^{2-} ;阳离子以 Na^+ 为主,占阳离子总量的质量分数为40.60%,其次为 Ca^{2+} 。

表1 研究区地下水水化学特征统计¹⁾

Table 1 Hydrochemistry statistical characteristics of various groundwater in the study area

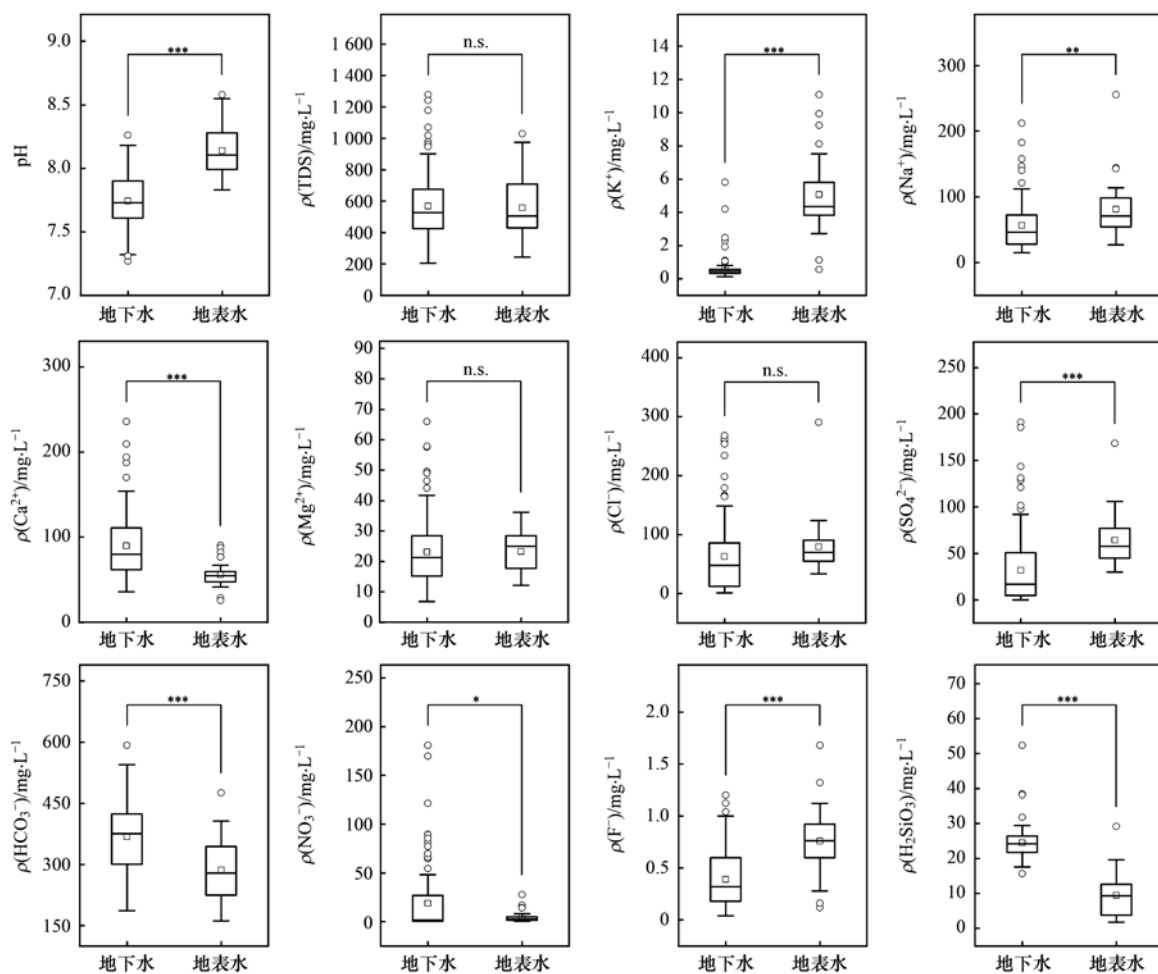
类型	项目	pH	TDS	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	H_2SiO_3
地下水 ($n=115$)	Max	8.26	1 278.12	5.81	212.10	235.87	65.99	268.00	191.16	592.50	180.97	52.38
	Min	7.27	204.98	0.12	15.00	35.73	6.83	1.06	0.00	186.21	0.50	15.63
	Mean	7.74	568.75	0.59	56.71	89.88	23.10	63.06	31.51	368.43	18.83	24.50
	Std	0.20	209.06	0.69	36.48	38.01	11.01	64.34	38.07	85.34	31.67	4.35
	CV	2.64	36.76	115.71	64.32	42.29	47.65	102.03	120.84	23.16	168.18	17.75
地表水 ($n=30$)	Max	8.58	1 029.66	11.09	255.75	90.00	36.20	290.69	168.27	475.44	27.47	29.11
	Min	7.83	243.96	0.56	27.09	25.33	12.15	33.68	29.78	161.38	0.50	1.78
	Mean	8.14	558.54	5.07	81.36	55.88	23.24	78.87	64.02	286.21	4.85	9.49
	Std	0.20	183.23	2.29	43.03	14.97	6.75	45.10	28.07	81.57	5.88	6.12
	CV	2.42	32.81	45.24	52.90	26.78	29.06	57.19	43.85	28.50	121.22	64.54

1) Max表示最大值,Min表示最小值,Mean表示均值,Std表示标准差;CV表示变异系数,单位%;pH为无量纲;其余成分单位为 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

经 t 值检验,地表水中pH、 K^+ 、 SO_4^{2-} 和 F^- 的含量显著高于地下水($P<0.001$,图3)。地下水中的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 H_2SiO_3 的含量显著高于地表水($P<0.001$)。而地下水和地表水中的TDS、 Mg^{2+} 和 Cl^- 的含量大体一致,差异不明显。

地下水阴阳离子的变异系数介于23.16%~168.18%之间,空间变异性较大。 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和

NO_3^- 这4种离子其变异系数均大于100%,表明这些离子的空间分布差异明显,局部地区离子富集较高,可能受到农业活动和采矿活动等人类活动的影响^[2]。地表水除 NO_3^- 的变异系数超过100%外,其余离子的变异系数在28.50%~57.19%之间。有研究表明,硝酸型水形成主要受城镇生活污水、农业生产施氮肥和各类垃圾渗滤液下渗等影响^[5,24],这



n. s. 表示显著性不明显, *** 表示在 0.001 水平上显著, ** 表示在 0.01 水平上显著, * 表示在 0.05 水平上显著

图3 地下水和地表水化学组分分布

Fig. 3 Distribution of chemical components of groundwater and surface water

表明研究区地下水和地表水均不同程度受到人类活动的影响。

3.1.2 水化学类型

Piper 三线图不受人为因素影响,能够直观反映水体水化学的类型及演变^[25~27]。由图 4 可知,研究区地下水和地表水阴离子以 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主,阳离子以 Ca^{2+} 和 Na^+ 为主。其中地下水中阳离子以 Ca^{2+} 为主, Na^+ 和 Mg^{2+} 次之,指示地下水中阳离子主要来自于碳酸盐岩、硅酸盐岩和蒸发岩的风化溶解。地表水中阳离子以 Ca^{2+} 为主,其次为 Na^+ ,阴离子主要位于 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 端元区域,指示地表水水化学组分多来自含钠岩石的风化溶解。

研究区地下水和地表水类型变化多样,按舒卡列夫式分类,地下水以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水为主,占 32.17%,其次为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ (21.74%)、 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl-Ca}$ (13.04%) 和 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ (9.57%),水化学类型由 $\text{Cl-Ca}\cdot\text{Na} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-Na}$ 的逐渐演变趋势。地表水以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 为主,占 40%,其次为 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl-Ca}\cdot\text{Na}$ (33.33%) 和 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ (16.67%),水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{Cl-Na}$ 逐渐演变趋势。

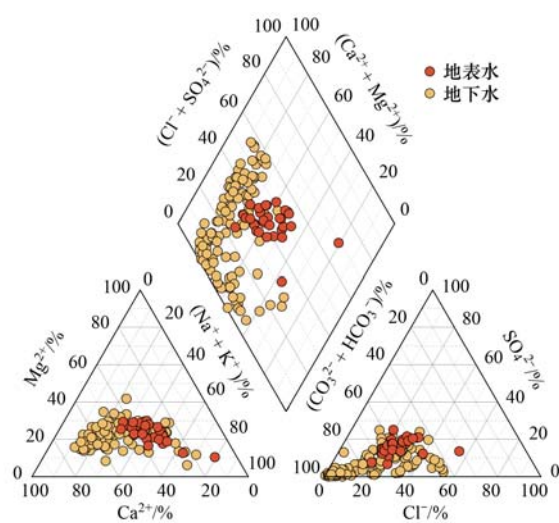


图4 研究区地下水和地表水 Piper 三线图

Fig. 4 Piper diagram of groundwater and surface water of the study area

Ca·Na (16.67%),水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{Cl-Na}$ 逐渐演变趋势。

3.1.3 各离子组分间的相互关系

通过分析地下水或地表水水化学组分间的相关

关系,可以识别水化学中的不同离子组分是否为同一来源或具有相近的迁移转化途径^[28,29]. 一般情况下水体中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 主要来源于蒸发岩的溶解, HCO_3^- 主要来自碳酸盐岩溶解; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 来源于蒸发岩、碳酸盐岩和硅酸盐岩溶解,而 Na^+ 和 K^+ 则来源于蒸发岩和硅酸盐岩的风化产物^[30].

从研究区地下水和地表水中各组分之间的相关系数矩阵可以看出(表2),地下水中 TDS 与 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 具有极显著的正相关性($P < 0.01$),相关系数依次为 0.573、0.710、0.710、0.750、0.685 和 0.498. 表明这些离子对 TDS 的贡献较大; HCO_3^- 与 Na^+ 和 Mg^{2+} 具有显著的正相关关系($P < 0.01$),相关系数分别为 0.744 和 0.577,而与 Ca^{2+} 相关性不明显,说明方解石(CaCO_3)对水中 HCO_3^- 的贡献较小; SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Cl^- 具有显著的正相关性($P < 0.01$),相关系数分别为 0.636、0.606 和 0.600; 说明蒸发岩对离子浓度具有较大的贡献; Cl^- 与 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 具有显著的相关性($P < 0.01$),相关系数分别为 0.322、0.863 和 0.594,推断上述两者之

间具有相对一致的来源,可能是岩盐溶解或是源于人类污染,值得注意的是, Cl^- 和 NO_3^- 具有显著的正相关性,相关系数达 0.658 ($P < 0.01$),考虑到 NO_3^- 主要为人类活动污染产生,推断 Cl^- 也必然受到人类活动的影响^[31].

地表水中 TDS 与 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 存在显著的正相关关系($P < 0.01$),相关系数依次为 0.593、0.704、0.528、0.578、0.637、0.721 和 0.741. 表明这些离子对 TDS 的贡献较大; HCO_3^- 与 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 具有显著的正相关关系($P < 0.01$),相关系数分别为 0.744 和 0.757; 说明三者之间具有相对一致的来源; SO_4^{2-} 与 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 具有显著的正相关性($P < 0.01$),相关系数分别为 0.816、0.580 和 0.484; 说明蒸发岩对离子浓度具有较大的贡献; Cl^- 与 K^+ 和 Na^+ 具有显著的相关性($P < 0.01$),相关系数分别为 0.539 和 0.919,推断上述两者之间主要来源一致,表明离子的浓度主要受岩盐溶解的影响;此外, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 也具有显著的相关性($P < 0.01$),相关系数为 0.810,表明 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 具有一致的来源.

表2 研究区地下水和地表水水化学参数相关系数¹⁾

Table 2 Correlation coefficients of hydrochemical parameters of groundwater and surface water in the study area												
		pH	TDS	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ SiO ₃
地下水	pH	1										
	TDS	-0.576 **	1									
	K ⁺	-0.180	0.191 *	1								
	Na ⁺	-0.113	0.573 **	0.163	1							
	Ca ²⁺	-0.663 **	0.710 **	0.124	0.064	1						
	Mg ²⁺	-0.417 **	0.710 **	0.284 **	0.437 **	0.511 **	1					
	Cl ⁻	-0.533 **	0.750 **	0.215 *	0.322 **	0.863 **	0.594 **	1				
	SO ₄ ²⁻	-0.467 **	0.685 **	0.256 **	0.449 **	0.636 **	0.606 **	0.600 **	1			
	HCO ₃ ⁻	-0.161	0.498 **	0.096	0.744 **	0.056	0.577 **	0.086	0.279 **	1		
	NO ₃ ⁻	-0.483 **	0.632 **	0.054	0.345 **	0.662 **	0.417 **	0.658 **	0.482 **	0.099	1	
	H ₂ SiO ₃	-0.309 **	0.071	0.180	-0.094	0.254 **	0.024	0.166	0.212 *	-0.088	0.078	1
地表水	pH	1.000										
	TDS	-0.273	1.000									
	K ⁺	-0.040	0.593 **	1.000								
	Na ⁺	-0.288	0.704 **	0.443 *	1.000							
	Ca ²⁺	-0.186	0.528 **	0.301	-0.075	1.000						
	Mg ²⁺	0.095	0.578 **	0.202	0.059	0.810 **	1.000					
	Cl ⁻	-0.309	0.637 **	0.539 **	0.919 **	-0.097	0.005	1.000				
	SO ₄ ²⁻	-0.046	0.721 **	0.816 **	0.580 **	0.322	0.331	0.484 **	1.000			
	HCO ₃ ⁻	-0.222	0.741 **	0.148	0.394 *	0.744 **	0.757 **	0.185	0.438 *	1.000		
	NO ₃ ⁻	-0.045	0.229	0.636 **	0.009	0.230	0.087	0.092	0.342	-0.036	1.000	
	H ₂ SiO ₃	-0.537 **	0.487 **	0.213	0.401 *	0.416 *	0.181	0.268	0.280	0.586 **	0.235	1.000

1) ** 表示在 0.01 水平显著相关, * 表示在 0.05 水平显著相关

3.2 主要离子来源及成因

3.2.1 水岩相互作用机制

地下水或地表水与围岩之间的水岩相互作用可以揭示水化学演化机制^[32]. Gibbs 图可以用来定性

判断大气降雨、岩石风化和蒸发浓缩作用对地下水离子来源的影响^[32~34]. 从图5可看出,阳离子 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 在 0.14 ~ 0.89 之间,阴离子 $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 在 0.01 ~ 0.65 之间. 地下水和地表

水样品点位于水岩相互作用端元(岩石风化控制),表明水岩相互作用制约了淮南煤矿区地下水和地表水的水文地球化学过程,是导致研究区水化学形成的关键水文化学过程. 另外部分水样点落在蒸发-浓缩端元,表明部分地下水和地表水还受到了蒸发-浓缩作用的影响,但影响远不及水岩相互作用强烈. 样

品点分布远离降雨控制端元,表明大气降水对研究区内地下水和地表水主要离子来源贡献较小. 本研究结论与郑涛等^[5]和袁利等^[35]在淮北平原的涡河流域中部地下水和宿州市地下水的研究结果较为一致,指示研究区地下水离子组分主要受岩石风化作用影响.

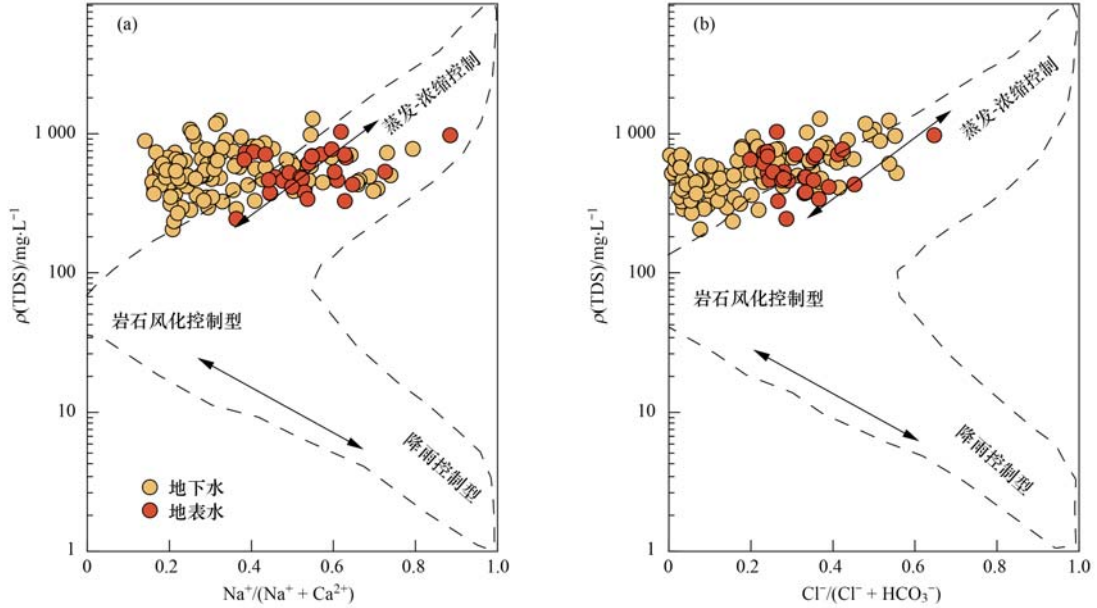


图5 研究区地下水和地表水 Gibbs 图

Fig. 5 Gibbs diagram of groundwater and surface water in the study area

为研究地下水和地表水系统内硅酸盐和铝硅酸盐矿物间的溶解-沉淀平衡状态,绘制了硅酸盐体系稳定场图^[36,37]. 绝大部分样品点落在高岭石和蒙脱石的稳定区域上(图6),表明硅酸盐矿物风化处于第一和第二阶段^[38]; SiO_2 含量超过石英饱和线,但

远未达到非晶质硅饱和线,表明研究区内可能发生了钙长石、钠长石和云母等含水介质溶解,水解为高岭石和蒙脱石等黏土矿物. 在地下水或地表水径流过程中除可水解为高岭石和蒙脱石等黏土矿物外,还同时产生 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 和 HCO_3^- 等

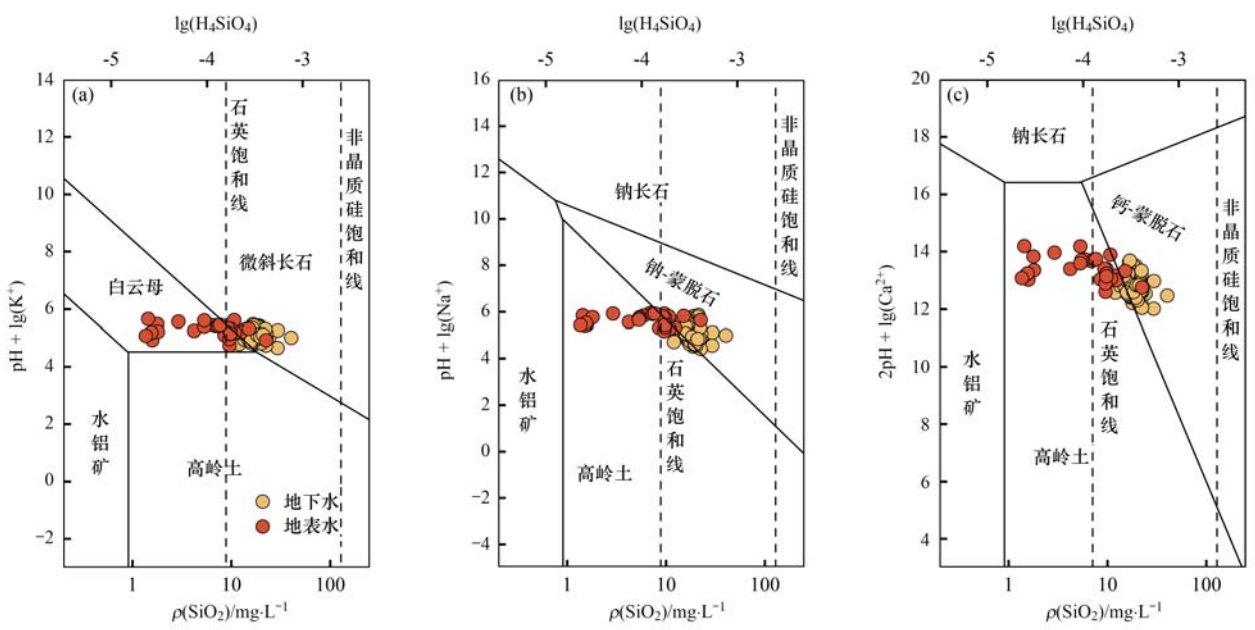


图6 研究区地下水和地表水硅酸盐稳定场

Fig. 6 Silicate stability field groundwater and surface water in the study area

离子^[36].

根据碳酸盐、硅酸盐和蒸发岩矿物风化产生的 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 和 $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ (当量浓度比值), 可以表征地下水和地表水在岩石风化作用下水化学组分的变化^[5,39]. 研究区地下水和地表水样

品点主要落在硅酸盐岩端元区域(图7), 少量样品点靠近蒸发盐岩端元, 样品点存在向碳酸盐岩方向发展的趋势. 表明硅酸盐矿物(如长石等)的风化水解作用控制着研究区水文地球化学过程, 但也不能排除蒸发盐岩矿物的贡献.

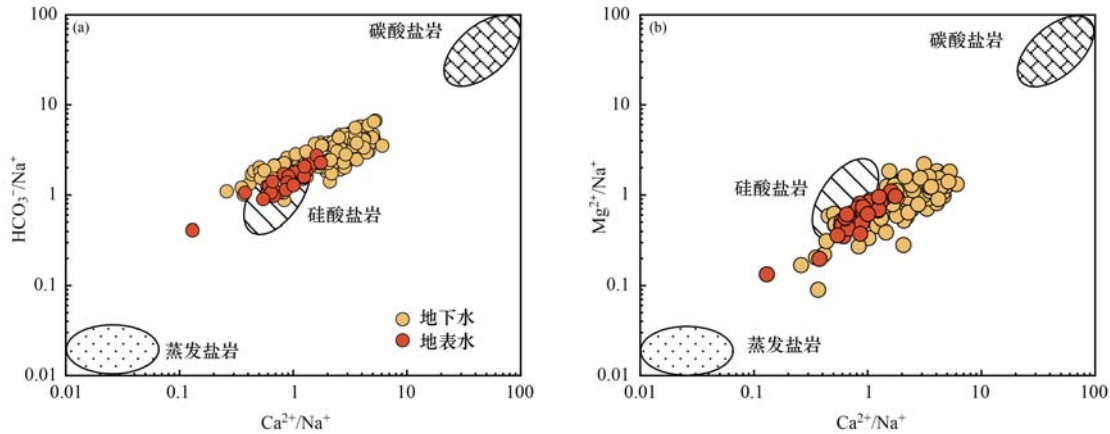


图7 地表水和地下水 $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 关系

Fig. 7 Relationships between $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$, $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$, and $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ for surface water and groundwater

3.2.2 阳离子交替吸附

($\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$) 与 $[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)]$ 的当量浓度比值可以识别阳离子吸附交替作用的强度^[5,40]. 如图8(a)所示, 研究区大部分样品点均表现出明显的负相关性, 其中地下水相关系数达0.95, 且斜率接近-1. 表明淮南煤矿区地下水和地表水均发生较强度度的阳离子交替吸附作用^[41].

通常采用氯碱指数(CAI-1 和 CAI-2)表征地下水或地表水中阳离子交换的类型和强度, 其计算公式及含义见文献[1]. 如图8(b)所示, 研究区地下水 CAI-1 在 $-134.62 \sim 0.73$ 之间, 均值为 -4.39 , CAI-2 介于 $-0.62 \sim 0.83$, 均值为 -0.09 ; 地表水 CAI-1 值在 $-1.47 \sim -0.20$ 之间, 均值为 -0.67 , CAI-2 介于 $-0.51 \sim -0.06$, 均值为 -0.23 . 表明研究区地下水和地表水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子置换围

岩中的 Na^+ 离子, 而且地下水交替吸附作用要强于地表水^[42]. 地表水和地下水中 Na^+ 与 SO_4^{2-} 呈显著的正相关关系 ($P < 0.01$, 表2), 硫酸盐溶解致使地下水和地表水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度剧增并向饱和趋势发展, 但系统内剩余的 SO_4^{2-} 仍需要大量的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等阳离子置换 Na^+ 来维持平衡.

3.2.3 人类活动的影响

农业生产、矿产开采等人类活动产生的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 Na^+ 等离子控制着地表水或地下水化学组分的变化. 具体表现为矿业开采活动产生较多的 SO_4^{2-} , 而农业生产、生活污水排放则导致 Cl^- 、 NO_3^- 和 Na^+ 等离子的富集与迁移^[43]. 一般情况下, 可采用 $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ 与 Cl^-/Na^+ 的相关关系来评价人类活动对地下水或地表水 NO_3^- 组分的影响^[44].

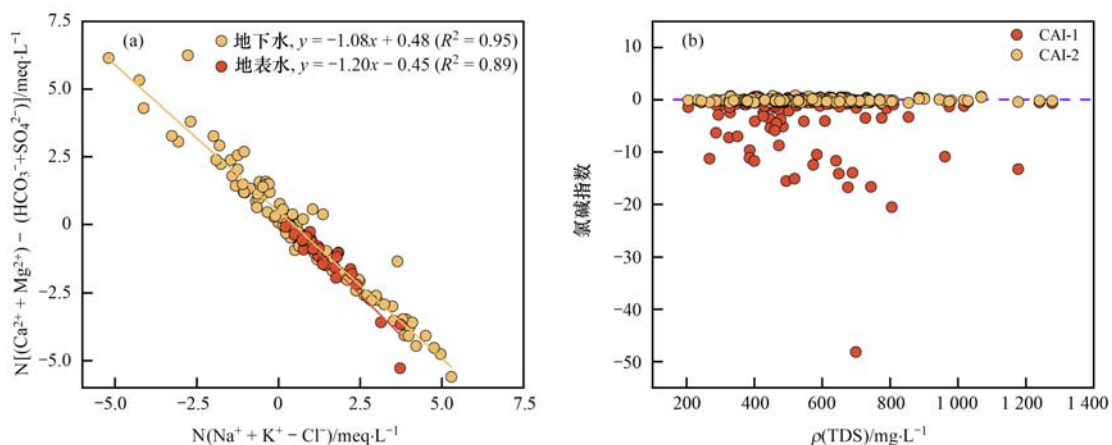


图8 研究区地表水和地下水阳离子交替吸附作用以及氯碱指数

Fig. 8 Cation exchange and adsorption of groundwater and surface water and Chlor-alkali index of groundwater and surface water in the study area

如图 9(a) 所示, 研究区地下水和地表水中 $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ 与 Cl^-/Na^+ 呈一定相关关系, 而且绝大多数样品点落在农业活动影响区域, 表明研究区农业生产活动不同程度影响地下水和地表水水化学组分. 一般情况下, 农业活动具有相对较高 $\text{NO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ 值和较低的 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ 值, 而矿业活动与之相

反^[3,45]. 从图 9(b) 可知, 研究区地表水样品点显示出极低的 $\text{NO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ 值和较高的 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ 值, 而且绝大部分分布在图的左上区域, 表明地表水受矿业活动影响显著^[5]. 而地下水则与地表水相反, 其样品点主要分布在图的右下方区域, 指示农业活动影响地下水的水化学特征.

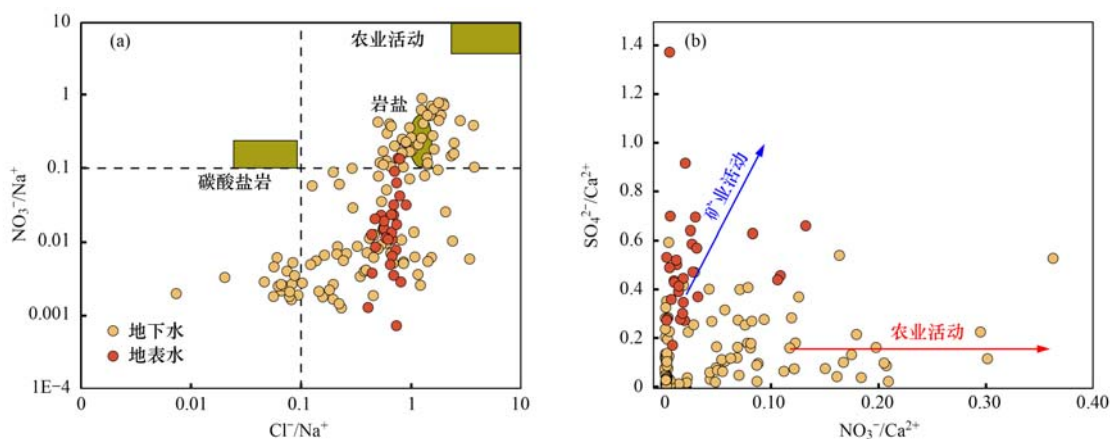


图 9 研究区地下水和地表水 $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ 与 Cl^-/Na^+ 和 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ 与 $\text{NO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ 关系

Fig. 9 Relationships of $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ vs. Cl^-/Na^+ and $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ vs. $\text{NO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ of groundwater and surface water in the study area

3.2.4 主要风化过程及演化机制

Na^+ 的来源可以用 Na^+ 和 Cl^- 的当量浓度比值来反映^[43], 一般情况 $\text{Na}^+/\text{Cl}^- > 1$ 指示着 Na^+ 源自于硅酸盐的风化溶解^[1]. 从图 10(a) 可知, 地表水所有样品的 Na^+/Cl^- 均大于 1, 表明地表水中的 Na^+ 主要来源于硅酸盐的溶解^[46]; 而地下水的样品点主要分布于 1:1 直线的两侧, 表明地下水中 Na^+ 来源复杂, 可能除受岩盐矿物和硅酸盐等矿物溶解产生外^[28], 阳离子交换也具有一定的贡献^[10]. 地下水中部分样品点的 $\text{Na}^+/\text{Cl}^- < 1$, 可能受人为污染的影响. 从图 10(b) 可见, 除少量样品点外, 地表水和地下水中的 Na^+ 明显小于 HCO_3^- , 指示地下水或地表水中 Na^+ 不足以平衡 HCO_3^- , 表明除硅酸盐矿物

溶解外, 地下水和地表水中 HCO_3^- 可能来自碳酸盐岩等矿物的溶解.

根据 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ 与 $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$ 的比例关系可以判断碳酸盐岩和石膏溶解对地下水和地表水化学浓度的贡献^[47]. 地下水和地表水样品点远离硫酸溶解碳酸盐岩线, 样品点主要落在碳酸溶解碳酸盐岩和石膏溶解线且靠近碳酸溶解碳酸盐岩端元[图 11(a)], 说明碳酸对碳酸盐岩的溶解是地下水和地表水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的主要来源, 而石膏矿物溶解进一步增加了 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度. 地下水中靠近石膏溶解线样点较多, 表明地下水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 绝大部分源自石膏的溶解.

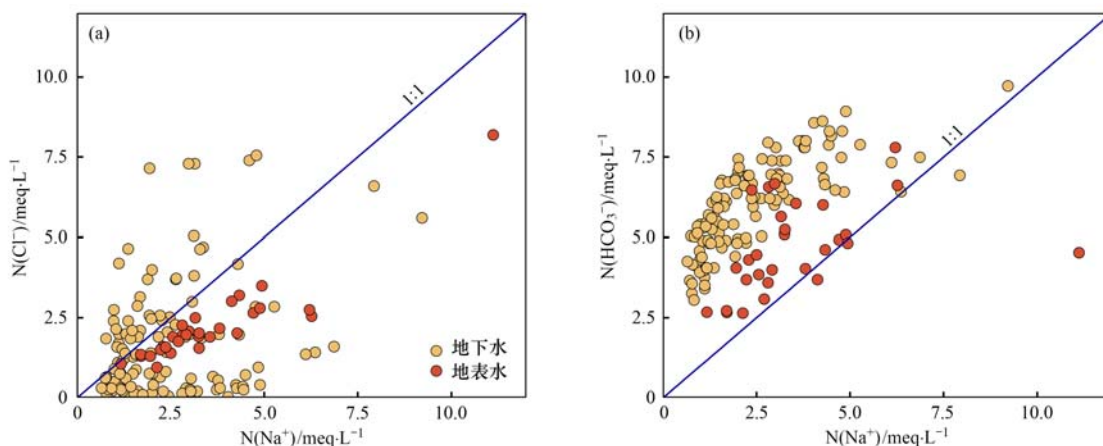


图 10 地下水和地表水中 Na^+ 与 Cl^- 、 Na^+ 与 HCO_3^- 的关系

Fig. 10 Relationships between Na^+ and Cl^- and Na^+ and HCO_3^- of groundwater and surface water

有研究表明,通过 $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-)$ 与 $(\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ - \text{Cl}^-)$ 的毫克当量浓度比值可以判定 SO_4^{2-} 是否来源于石膏的溶解^[5].淮南煤矿区绝大部分地下水和地表水样品点分布于当量浓度 1:1 直线

附近,指示石膏溶解为地下水和地表水中 SO_4^{2-} 的主要来源[图 11(b)].有研究表明,研究区地层尤其是新近纪地层中存在石膏夹层,故研究区含水介质中普遍存在石膏矿物^[5].

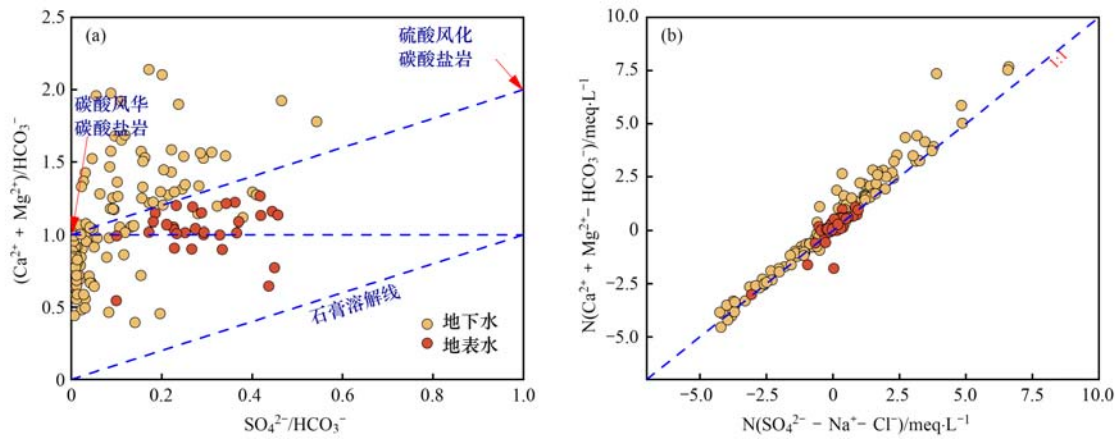


图 11 地下水和地表水中 $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ 与 $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$ 以及 $N(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-)$ 与 $N(\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ - \text{Cl}^-)$ 的关系

Fig. 11 Relationships between $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ vs. $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$ and $N(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-)$ vs. $N(\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ - \text{Cl}^-)$ of groundwater and surface water

3.3 水化学离子控制因素

基于 SPSS 26.0 对地表水和地下水进行主成分分析,按照特征值大于 1 的原则提取,地下水提取了 3 个主成分,地表水提取了 4 个主成分,累积贡献率分别为 73.570% 和 88.911% (表 3),基本解释了地下水和地表水的绝大部分信息.

地下水主成分 PC1 以 TDS、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 NO_3^- 为主,其方差贡献率为 38.168%. 农业生产和矿业开采等人类活动加剧导致地下水中离子含量的增加^[48], SO_4^{2-} 和 Cl^- 除来自蒸发岩溶解外,人类活动也是其输入的来源^[48],其中 Cl^- 为生活污水的特征离子^[48],而 NO_3^- 是农业生产活动的代表性离子^[44],其主要来源于农业化肥等的施用. 推测 PC1 主

要反映了生活污水和农业活动等人类生产活动对地下水水化学溶质的影响. PC2 以 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 为主,其方差贡献率为 23.278%, HCO_3^- 与 Na^+ 和 Mg^{2+} 具显著的正相关性(表 2), Mg^{2+} 主要来源于白云石等矿物的溶解,而 HCO_3^- 和 Mg^{2+} 为碳酸盐岩溶解的特征离子. 所以 PC2 代表了碳酸盐岩的水岩相互作用对地下水组分的影响. PC3 以 K^+ 和 H_2SiO_3 为主,其方差贡献率为 12.123%,研究区普遍存在钠长石、钾长石等硅酸盐岩的风化(图 6),故 PC3 代表了硅酸盐岩溶解对地下水水化学组分的影响.

地表水与地下水主成分略有不同. 地表水主成分 PC1 以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 为主,其方差贡献率为 28.021%,且两两之间具有显著的相关性(表 2),

表 3 研究区地下水和地表水旋转成分¹⁾

指标	主成分						
	地下水($n=115$)			地表水($n=30$)			
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC4
pH	-0.710	-0.035	-0.295	0.027	-0.145	0.021	-0.890
TDS	0.766	0.532	0.053	0.600	0.684	0.227	0.200
K^+	0.024	0.253	0.767	0.152	0.513	0.804	-0.054
Na^+	0.166	0.875	-0.042	0.042	0.957	-0.014	0.219
Ca^{2+}	0.942	-0.031	0.128	0.893	-0.138	0.248	0.210
Mg^{2+}	0.538	0.615	0.169	0.939	0.044	0.055	-0.130
Cl^-	0.883	0.148	0.102	-0.084	0.924	0.098	0.180
SO_4^{2-}	0.659	0.382	0.266	0.356	0.641	0.514	-0.074
HCO_3^-	0.025	0.909	0.005	0.879	0.279	-0.107	0.281
NO_3^-	0.806	0.129	-0.131	0.012	-0.059	0.927	0.134
H_2SiO_3	0.198	-0.240	0.714	0.332	0.196	0.148	0.787
特征值	4.199	2.561	1.334	3.082	3.071	1.929	1.698
贡献率/%	38.168	23.278	12.123	28.021	27.914	17.539	15.437
累积贡献率/%	38.168	61.446	73.570	28.021	55.935	73.474	88.911

1) 黑体字表示主要影响指标

从地下水 Piper 三线图可知(图4),地表水水化学类型主要以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型为主,表明地表水受水岩相互作用影响,而且 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为碳酸盐岩溶解的特征离子,故地表水的 PC1 代表了碳酸盐岩的水岩相互作用对地表水的影响. PC2 主要以 TDS、 Na^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主,其方差贡献率为 27.914%,根据离子比值及相关关系可知(图10和图11),地表水化学组分受岩盐的控制,所以 PC2 主要反映了人类活动影响下的岩盐水岩相互作用. PC3 主要以 K^+ 和 NO_3^- 为主,其方差贡献率为 17.539%,且两者具有显著的正相关性(表2), K^+ 和 NO_3^- 多源于农业氮肥的施用、生活污水及人畜粪便排放等^[49],而研究区农业生产以施用氮肥、磷肥、钾肥和复合肥为主,故 PC3 代表了农业活动等人类活动对地表水的影响. PC4 主要以 H_2SiO_3 为主,其方差贡献率为 15.437%,与地下水类似,PC4 代表了硅酸盐岩溶解对地表水水化学组分的影响.

4 结论

(1)淮南煤矿区地下水和地表水 pH 在 7.27 ~ 8.58 之间,整体呈弱碱性. ρ (TDS) 介于 204.98 ~ 1278.12 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,属淡水.地下水优势阳离子和阴离子分别为 Ca^{2+} 和 HCO_3^- ,水化学以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型为主,水化学类型由 $\text{Cl-Ca}\cdot\text{Na}\rightarrow\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}\rightarrow\text{HCO}_3\text{-Na}$ 的逐渐演变趋势;地表水优势阳离子和阴离子分别为 Na^+ 与 Ca^{2+} 和 HCO_3^- ,水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 为主,水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\rightarrow\text{Cl-Na}$ 逐渐演变趋势.

(2)淮南煤矿区地下水和地表水化学组分受岩石风化控制、矿物溶解、阳离子交替吸附和人类活动等因素的共同制约.碳酸岩盐溶解是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 等离子的主要来源;蒸发岩(如岩盐、硫酸盐等)溶解对 Na^+ 和 Cl^- 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 有不同程度的贡献,人类活动造成的外源输入对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 Ca^{2+} 造成一定的影响.且地下水受人类活动影响较大.

(3)淮南煤矿区地下水中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 NO_3^- 受生活污水、农业活动等人类活动影响, Na^+ 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 主要来源于碳酸盐岩的水岩相互作用, K^+ 和 H_2SiO_3 源于硅酸盐岩溶解.地表水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 碳酸盐岩的水岩相互作用, TDS、 Na^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 源自于人类活动影响下的岩盐水岩相互作用, K^+ 和 NO_3^- 来源于农业活动、生活污水等人类活动, H_2SiO_3 主要来源于硅酸盐岩溶解.

参考文献:

- [1] 陈京鹏,蒋书杰,杨询昌,等.大沽河流域上游水化学特征及其控制因素研究[J].地质论评,2022,68(5):1853-1862.
- [2] 彭红霞,侯清芹,曾敏,等.雷州半岛地下水化学特征及控制因素分析[J].环境科学,2021,42(11):5375-5383.
- [3] 涂春霖,尹林虎,和成忠,等.珠江源区小黄河流域地表水水化学组成特征及控制因素[J].环境科学,2022,43(4):1885-1897.
- [4] 李书鉴,韩晓,王文辉,等.无定河流域地表地下水的水化学特征及控制因素[J].环境科学,2022,43(1):220-229.
- [5] 郑涛,焦团理,胡波,等.渭河流域中部地区地下水化学特征及其成因分析[J].环境科学,2021,42(2):766-775.
- [6] 周嘉欣,丁永建,曾国雄,等.疏勒河上游地表水水化学主离子特征及其控制因素[J].环境科学,2014,35(9):3315-3324.
- [7] 赵春红,申豪勇,王志恒,等.汾河流域地表水水化学同位素特征及其影响因素[J].环境科学,2022,43(10):4440-4448.
- [8] 王建,张华兵,许君利,等.盐城地区地表水化学空间特征及控制因素分析[J].环境科学,2021,42(10):4772-4780.
- [9] 崔玉环,王杰,刘友存,等.升金湖河湖交汇区地表-地下水水化学特征及成因分析[J].环境科学,2021,42(7):3223-3231.
- [10] 崔佳琪,李仙岳,史海滨,等.河套灌区地下水化学演变特征及形成机制[J].环境科学,2020,41(9):4011-4020.

- Cui J Q, Li X Y, Shi H B, *et al.* Chemical evolution and formation mechanism of groundwater in Hetao irrigation area[J]. Environmental Science, 2020, **41**(9): 4011-4020.
- [11] 鲁涵, 曾妍妍, 周金龙, 等. 新疆祁漫塔格地区地下水化学特征及成因分析[J]. 水资源与水工程学报, 2022, **33**(2): 85-92.
- Lu H, Zeng Y Y, Zhou J L, *et al.* Hydrochemical characteristics of the groundwater in Qimantage area of Xinjiang and the formation causes [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2022, **33**(2): 85-92.
- [12] 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.
- [13] Li Z, Xiao J, Evaristo J, *et al.* Spatiotemporal variations in the hydrochemical characteristics and controlling factors of streamflow and groundwater in the Wei River of China[J]. Environmental Pollution, 2019, **254**, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113006.
- [14] Wang Y H, Li P Y. Appraisal of shallow groundwater quality with human health risk assessment in different seasons in rural areas of the Guanzhong Plain (China) [J]. Environmental Research, 2022, **207**, doi: 10.1016/j.envres.2021.112210.
- [15] Qu S, Duan L M, Shi Z M, *et al.* Hydrochemical assessments and driving forces of groundwater quality and potential health risks of sulfate in a coalfield, northern Ordos Basin, China[J]. Science of the Total Environment, 2022, **835**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155519.
- [16] Zhang Y H, Dai Y S, Wang Y, *et al.* Hydrochemistry, quality and potential health risk appraisal of nitrate enriched groundwater in the Nanchong area, Southwestern China[J]. Science of the Total Environment, 2021, **784**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147186.
- [17] Zhong C H, Wang H, Yang Q C. Hydrochemical interpretation of groundwater in Yinchuan Basin using self-organizing maps and hierarchical clustering[J]. Chemosphere, 2022, **309**, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136787.
- [18] Rahman A T M S, Kono Y, Hosono T. Self-organizing map improves understanding on the hydrochemical processes in aquifer systems[J]. Science of the Total Environment, 2022, **846**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157281.
- [19] 张俊, 李余生, 林曼利, 等. 淮南张集矿水文地球化学特征及水源识别[J]. 水文地质工程地质, 2014, **41**(6): 32-37, 50.
- Zhang J, Li Y S, Lin M L, *et al.* Hydrogeochemistry characteristics and source identification: a case study in the Zhangji coal mine in Huainan[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014, **41**(6): 32-37, 50.
- [20] 汪子涛, 刘启蒙, 刘瑜. 淮南煤田地下水水化学空间分布及其形成作用[J]. 煤田地质与勘探, 2019, **47**(5): 40-47.
- Wang Z T, Liu Q M, Liu Y. Spatial distribution and formation of groundwater hydrochemistry in Huainan coalfield [J]. Coal Geology & Exploration, 2019, **47**(5): 40-47.
- [21] 黄望望, 姜春露, 陈星, 等. 淮南新集矿区主要充水含水层水化学特征及成因[J]. 地球与环境, 2020, **48**(4): 432-442.
- Huang W W, Jiang C L, Chen X, *et al.* Chemical characteristics and genesis of deep groundwater in the Xinji mining area[J]. Earth and Environment, 2020, **48**(4): 432-442.
- [22] 杨婷婷, 许光泉, Anesu M. 淮南潘谢矿区岩溶水化学特征及其形成机制研究[J]. 地球与环境, 2021, **49**(3): 238-249.
- Yang T T, Xu G Q, Anesu M. Chemical composition of karst groundwater of Panxie coal mining area in Huainan and its formation mechanism [J]. Earth and Environment, 2021, **49**(3): 238-249.
- [23] 柴义伦. 淮南矿区矿山地质环境影响评价方法探讨[J]. 安徽地质, 2018, **28**(4): 299-302.
- Chai Y L. Discussion on assessment method of mine geo-environment impact in the Huainan mining area[J]. Geology of Anhui, 2018, **28**(4): 299-302.
- [24] 蒙琪. 石羊河流域中下游浅层地下水水化学特征及其成因[J]. 干旱区资源与环境, 2021, **35**(3): 80-87.
- Meng Q. Hydrochemical characteristics and controlling factors of the shallow groundwater in the midstream and downstream areas of Shiyang River Basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, **35**(3): 80-87.
- [25] Piper A M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses [J]. Eos, Transactions American Geophysical Union, 1944, **25**(6): 914-928.
- [26] 杨锐, 周金龙, 魏兴, 等. 新疆和田东部平原区地下水水化学特征及演化规律[J]. 环境化学, 2022, **41**(4): 1367-1379.
- Yang R, Zhou J L, Wei X, *et al.* Hydrochemical characteristics and evolution of groundwater in the eastern plain of Hotian Prefecture, Xinjiang [J]. Environmental Chemistry, 2022, **41**(4): 1367-1379.
- [27] 何锦, 张幼宽, 赵雨晴, 等. 鲜水河断裂带虾拉沱盆地断面地下水水化学特征及控制因素[J]. 环境科学, 2019, **40**(3): 1236-1244.
- He J, Zhang Y K, Zhao Y Q, *et al.* Hydrochemical characteristics and possible controls of groundwater in the Xialatuo Basin section of the Xianshui river [J]. Environmental Science, 2019, **40**(3): 1236-1244.
- [28] 张涛, 蔡五田, 李颖智, 等. 尼洋河流域水化学特征及其控制因素[J]. 环境科学, 2017, **38**(11): 4537-4545.
- Zhang T, Cai W T, Li Y Z, *et al.* Major ionic features and their possible controls in the water of the Niyang River Basin [J]. Environmental Science, 2017, **38**(11): 4537-4545.
- [29] Wu X, Zheng Y, Zhang J, *et al.* Investigating hydrochemical groundwater processes in an inland agricultural area with limited data: a clustering approach [J]. Water, 2017, **9**(9), doi: 10.3390/w9090723.
- [30] 罗进, 安艳玲, 吴起鑫, 等. 赤水河中下游冬季河水化学空间分布特征分析[J]. 地球与环境, 2014, **42**(3): 297-305.
- Luo J, An Y L, Wu Q X, *et al.* Spatial distribution of surface water chemical components in the middle and lower reaches of the Chishui River Basin [J]. Earth and Environment, 2014, **42**(3): 297-305.
- [31] 魏善明, 丁冠涛, 袁国霞, 等. 山东省东汶河沂南地区地下水水化学特征及形成机理[J]. 地质学报, 2021, **95**(6): 1973-1983.
- Wei S M, Ding G T, Yuan G X, *et al.* Hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater in Yi'nan, east Wenhe River Basin in Shandong Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2021, **95**(6): 1973-1983.
- [32] Gibbs R J. Mechanisms controlling world water chemistry [J]. Science, 1970, **170**(3962): 1088-1090.
- [33] 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.
- [34] Marandi A, Shand P. Groundwater chemistry and the Gibbs

- diagram[J]. *Applied Geochemistry*, 2018, **97**: 209-212.
- [35] 袁利, 蒋少杰, 汪定圣, 等. 宿州市城区地下水水化学特征及成因机制研究[J]. *地质论评*, 2022, **68**(4): 1555-1566.
Yuan L, Jiang S J, Wang D S, *et al.* Study on hydrochemical characteristics and formation of groundwater in urban district of Suzhou[J]. *Geological Review*, 2022, **68**(4): 1555-1566.
- [36] 刘海, 康博, 沈军辉. 基于反向地球化学模拟的地下水形成作用: 以安徽省泗县为例[J]. *现代地质*, 2019, **33**(2): 440-450.
Liu H, Kang B, Shen J H. Formation of groundwater based on inverse geochemical modeling: a case study from the Sixian County, Anhui Province[J]. *Geoscience*, 2019, **33**(2): 440-450.
- [37] Tardy Y. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs[J]. *Chemical Geology*, 1971, **7**(4): 253-271.
- [38] 张宏鑫, 吴亚, 罗伟宇, 等. 雷州半岛岭北地区地下水水文地球化学特征[J]. *环境科学*, 2020, **41**(11): 4924-4935.
Zhang H X, Wu Y, Luo W Y, *et al.* Hydrogeochemical investigations of groundwater in the Lingbei area, Leizhou Peninsula[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(11): 4924-4935.
- [39] Gaillardet J, Dupré B, Louvat P, *et al.* Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers[J]. *Chemical Geology*, 1999, **159**(1-4): 3-30.
- [40] Wu Y, Luo Z H, Luo W, *et al.* Multiple isotope geochemistry and hydrochemical monitoring of karst water in a rapidly urbanized region[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2018, **218**: 44-58.
- [41] 唐春雷, 郑秀清, 梁永平. 龙子祠泉域岩溶地下水水化学特征及成因[J]. *环境科学*, 2020, **41**(5): 2087-2095.
Tang C L, Zheng X Q, Liang Y P. Hydrochemical characteristics and formation causes of ground karst water systems in the Longzici spring catchment[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(5): 2087-2095.
- [42] 余冲, 徐志方, 刘文景, 等. 韩江流域河水地球化学特征与硅酸盐岩风化——风化过程硫酸作用[J]. *地球与环境*, 2017, **45**(4): 390-398.
Yu C, Xu Z F, Liu W J, *et al.* River water geochemistry of Hanjiang River, implications for silicate weathering and sulfuric acid participation[J]. *Earth and Environment*, 2017, **45**(4): 390-398.
- [43] 吕婕梅, 安艳玲, 吴起鑫, 等. 贵州清水江流域丰水期水化学特征及离子来源分析[J]. *环境科学*, 2015, **36**(5): 1565-1572.
Lü J M, An Y L, Wu Q X, *et al.* Hydrochemical characteristics and sources of Qingshuijiang River Basin at wet season in Guizhou Province[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(5): 1565-1572.
- [44] 杨芬, 高柏, 葛勤, 等. 信江流域地下水水化学特征及形成机制[J]. *科学技术与工程*, 2021, **21**(9): 3505-3512.
Yang F, Gao B, Ge Q, *et al.* Hydro-chemical characteristics and formation mechanism of groundwater in Xinjiang River Basin[J]. *Science Technology and Engineering*, 2021, **21**(9): 3505-3512.
- [45] 丁贞玉, 马金珠, 何建华. 腾格里沙漠西南缘地下水水化学形成特征及演化[J]. *干旱区地理*, 2009, **32**(6): 948-957.
Ding Z Y, Ma J Z, He J H. Geochemical evolution of groundwater in the southwest of Tengger Desert, NW of China[J]. *Arid Land Geography*, 2009, **32**(6): 948-957.
- [46] 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.
Yu W, Yang H Q, Guo J Y, *et al.* Hydrochemical characteristics and major ion sources of lake Caohai in Guizhou Province[J]. *Earth and Environment*, 2021, **49**(1): 32-41.
- [47] 贾超, 王丛, 刘森, 等. 济南西部冲积平原地下水水文地球化学特征研究[J]. *水利水电技术(中英文)*, 2022, **53**(3): 49-60.
Jia C, Wang C, Liu S, *et al.* Study on hydrogeochemical characteristics of groundwater in the alluvial plain of western Jinan[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2022, **53**(3): 49-60.
- [48] 张亚丽, 张依章, 张远, 等. 浑河流域地表水和地下水氮污染特征研究[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(1): 170-177.
Zhang Y L, Zhang Y Z, Zhang Y, *et al.* Characteristics of nitrate in surface water and groundwater in the Hun River Basin[J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(1): 170-177.
- [49] 吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 等. 城镇化进程中珠江三角洲高锰地下水赋存特征及成因[J]. *环境科学*, 2022, **43**(10): 4449-4458.
Lü X L, Liu J T, Han Z T, *et al.* Characteristics and causes of high-manganese groundwater in Pearl River Delta during urbanization[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(10): 4449-4458.

CONTENTS

Elucidating the Impacts of Meteorology and Emission Changes on Concentrations of Major Air Pollutants in Major Cities in the Yangtze River Delta Region Using a Machine Learning De-weather Method	FU Wen-xing, HUANG Lin, DING Jia-hao, <i>et al.</i> (5879)
Impact of Emission Reduction in Different Sectors on Air Quality and Atmospheric Temperature in Eastern China	LONG Zi-yu, ZHU Jia, LI Ke, <i>et al.</i> (5889)
Analysis of Spatio-temporal Characteristics of Air Quality, Meteorological Impact, and Emission Reduction Effect During the Winter Olympics in Beijing-Tianjin-Hebei and Its Surrounding Areas	HOU Lu, ZHU Yuan-yuan, LIU Bing, <i>et al.</i> (5899)
Emission Trends and Reduction Potential of VOCs from Printing Industry in China	LIANG Xiao-ming, WU Peng-zhen, CHEN Lai-guo, <i>et al.</i> (5915)
Analysis of VOCs Emission Characteristics and Emission Reduction Potential of Typical Industries in Jinan, China	WU Wen-lu, SHAN Chun-yan, ZHAO Jing-lin, <i>et al.</i> (5924)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Lishui Area of Nanjing	RUAN Zhao-yuan, YAN Ou, WANG Ti-jian, <i>et al.</i> (5933)
Spatio-temporal Change in City-level Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Sector in China During the Last Decade and Its Potential Mitigation	ZHANG Ting-xue, GAO Shu-dan, TENG Xiao, <i>et al.</i> (5946)
Spatiotemporal Distribution Characteristics of Air Pollution and Health Risks in Key Cities of China	TU Pei-yue, YANG Huan, CHEN Lan-zhou, <i>et al.</i> (5954)
Spatial and Temporal Variations in PM ₁ Concentration and its Correlation with AOD in China from 2014 to 2017	YUAN Li-mei, MA Fang-fang, BIAN Ze, <i>et al.</i> (5964)
Characteristics and Generation Mechanism of Secondary Inorganic Ions in PM _{2.5} in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan City Group	MA Jie-li, LUO Da-tong, LIU Xin, <i>et al.</i> (5975)
Characteristics and Cause of PM _{2.5} During Haze Pollution in Winter 2022 in Zhoukou, China	MA Ying-ge, YANG Lu, DI Rui-miao, <i>et al.</i> (5986)
Characterization and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM _{2.5} in Lanzhou	MA Ke-jing, SUN Li-juan (5997)
Characteristics of Atmospheric Dust Fall Pollution and Its Chemical Composition and Mass Reconstruction in Mentougou District of Beijing	WANG Zhi-yao, YAO Qi, LÜ Fu, <i>et al.</i> (6007)
Ozone Pollution Characteristics and Formation Mechanism in a Typical Tropical Seaside City	HAN Shu-yan, ZHANG Xin, XIE Rong-fu, <i>et al.</i> (6015)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Surface Water in Kuaize River Basin at the Upper Pearl River	TAO Lan-chu, CUN De-xin, TU Chun-lin, <i>et al.</i> (6025)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Surface Water and Groundwater in Huainan Coal Mine Area	LIU Hai, KANG Bo, GUAN Zheng-ting, <i>et al.</i> (6038)
Hydrochemical Characteristics and Pollution Source Identification of Groundwater in Plain Area of Barkol-Yiwu Basin	JIANG Feng, ZHOU Jin-long, ZHOU Yin-zhu, <i>et al.</i> (6050)
Identification of Nitrate Source and Transformation Process in Shallow Groundwater Around Dianchi Lake	CHEN Qing-fei, CHEN An-qiang, CUI Rong-yang, <i>et al.</i> (6062)
Analysis of Influencing Factors on the Accumulation and Distribution of Heavy Metals in Soil of a Typical Lead-zinc Mine Watershed	PAN Yong-xing, CHEN Meng, WANG Xiao-tong (6071)
Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment in Karst Basin Around a Lead-Zinc Mine	LIAO Hong-wei, JIANG Zhong-cheng, ZHOU Hong, <i>et al.</i> (6085)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Heavy Metals in Main Rivers Sediments and Ecological Risk Assessment in Kaifeng City	DING Ya-peng, LU Xi-hao, WANG Xiao-jing, <i>et al.</i> (6095)
Evaluation and Prediction of Environmental Capacities of Heavy Metals in the Surface Sediments of Lakes in Huoqiu County	LIU Hai, WEI Wei, SONG Yang, <i>et al.</i> (6106)
Metabarcoding Profiling of Phytoplankton Communities Associated with Algal Blooms and Determining Related Drivers in Baiyangdian Lake ...	CHEN Ting, DU Xun, CHEN Yi-yong, <i>et al.</i> (6116)
Driving Factors Analyze of Phytoplankton Community by Comparison of Population and Functional Groups and Water Quality Evaluation in Dongting Lake	YAN Guang-han, YIN Xue-yan, WANG Xing, <i>et al.</i> (6125)
Distribution Characteristics and Environmental Driving Factors of Cyanobacteria Community in Impounded Lakes and Reservoirs in Shandong on the East Route of South-to-North Water Diversion Project	WEI Jie-lin, CUI Yu-jing, LI Yi-zhen, <i>et al.</i> (6137)
Characteristics and Ecological Risk Assessment of Pharmaceutical Active Compounds in Guangdong Province	LUO Jia-hao, WANG Yu-kai, YUAN Ke, <i>et al.</i> (6149)
Characteristics of Microplastic-derived Dissolved Organic Matter(MPDOM) and the Complexation Between MPDOM and Sulfadiazine/Cu ²⁺	WANG Xiao, YAN Cai-xia, NIE Ming-hua, <i>et al.</i> (6159)
Photodegradation of Plastic Blends in Seawater and Its Risk to the Marine Environment	ZHANG Hong-yu, GAO Jia-wei, CHEN Si-bao, <i>et al.</i> (6172)
Preparation of Iron-improved Blue Algae Biochar and Its Co-adsorption Mechanism for Phosphorus in Surface Water	HAN Jie, HUANG Xin, YANG Kun-lun, <i>et al.</i> (6181)
Estimation and Critical Source Area Identification of Non-point Source Pollution Based on Improved Export Coefficient Models; A Case Study of the Upper Beiyun River Basin	LI Hua-lin, ZHANG Shou-hong, YU Pei-dan, <i>et al.</i> (6194)
Characteristics of Bacterial Community Structure in the Sediment of Rural Black and Odorous Water Bodies	REN Hong-wei, TIAN Yan-fang, LU Jin-xia, <i>et al.</i> (6205)
Impacts of Human Activities on the Net Primary Productivity of Vegetation in Chengde's Transitional Region from Plateau to Plain in the Context of Climate Change	SHAN Zhen-dong, LIU Dun, LUO Han, <i>et al.</i> (6215)
Meta-analysis on the Effects of Nitrogen Addition on Soil Organic Carbon Content in Terrestrial Ecosystems	YANG Ling-fang, KONG Dong-yan, DIAO Jing-wen, <i>et al.</i> (6226)
Effects of Biochar Application on Soil Organic Nitrogen Component and Active Nitrogen in <i>Eucalyptus</i> Plantations After Five Years in Northern Guangxi	CAO Yang, SHEN Yu-yi, CHEN Yun-shuang, <i>et al.</i> (6235)
Response of Organic Carbon Mineralization to Nitrogen Addition in Micro-aerobic and Anaerobic Layers of Paddy Soil	MAO Wan-qiong, XIA Yin-hang, MA Chong, <i>et al.</i> (6248)
Effects of Conservation Tillage on Herbicide Residues in Maize Field Soil	LIU Yuan, WANG Zu-cheng, LIU Mei-hua, <i>et al.</i> (6257)
Research Progress on Toxicity of Microplastics in Soil to Terrestrial Plants and Their Degradation Mechanism	LIU Wei, LI Yu-xin, RONG Sa-shuang, <i>et al.</i> (6267)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Microplastics in Soil in Danjiangkou Reservoir Area of South-to-North Water Diversion Project	WANG Feng, GONG Wei, LIU Zhe, <i>et al.</i> (6279)
Accumulation Characteristics, Sources, and Health Risks of Soil Lead of Urban Parks in Beijing	AN Jiang-mei-duo, ZHANG Rui-qing, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (6287)
Vertical Migration Characteristics and Fate of Heavy Metals from Zinc Smelting Slag in Soil Profile	YANG Ai-ping, WANG Xiao-yan, XIAO Xi-yuan, <i>et al.</i> (6297)
Ecological Risk Assessment and Migration and Accumulation Characteristics of Heavy Metals in Farmland Soil-crop System from Typical Pyrite Mining Area	CHENG Xiao-meng, ZHAO Chen, WU Chao, <i>et al.</i> (6309)
Interaction and Transport Characteristics of Lead and Cadmium in Different Soil-wheat Systems	KOU Meng, FAN Yu, SU Meng-xian, <i>et al.</i> (6319)
Distribution and Transport of Cadmium and Arsenic in Different Aboveground Parts of Wheat After Flowering	WANG Qiu-shi, HUA Gui-li, LI Xiang-yu, <i>et al.</i> (6328)
Effects of Vegetation Types and Seasonal Dynamics on the Diversity and Function of Soil Bacterial Communities in the Upper Reaches of the Heihe River	WANG Zhu, LIU Yang, WANG Fang, <i>et al.</i> (6339)
Ecological Responses of Soil Bacterial Communities to Heavy Metal Contamination Surrounding a Typical Coal-based Industrial Region	ZHENG Dan-feng, LIU Di, SU Chao, <i>et al.</i> (6354)
Effects of Aeration Methods on Microbial Diversity and Community Structure in Rice Rhizosphere	XIAO De-shun, XU Chun-mei, WANG Dan-ying, <i>et al.</i> (6362)
Response of Nitrification Potential and Ammonia Oxidation Microbial Community in Purple Soils to the Application of Biochar Combined with Chemical Fertilizer and Manure	LI Yue, WANG Zi-fang, JIA Li-juan, <i>et al.</i> (6377)
Effect of Continuous Cropping on the Physicochemical Properties, Microbial Activity, and Community Characteristics of the Rhizosphere Soil of <i>Codonopsis pilosula</i>	YANG Yang, LI Hai-liang, MA Kai-li, <i>et al.</i> (6387)
Effect of Manure Application on the Adsorption of Antibiotics to Soil	LUO Shan, HU Jin-sheng, TANG Xiang-yu, <i>et al.</i> (6399)
Relationship Between Carbon Emissions and Economic Development of Industrial Parks Based on Decoupling Index	CHEN Si-yu, LIU Jing-ru, SUN Guang-ming (6412)
Characteristics of Municipal Solid Waste in Some Urban Agglomeration in the Past Five Years	WANG Xiao-bo, LIU An-qi, ZHONG Hui-qiong, <i>et al.</i> (6421)