

# 浅层地下水水化学特征及来源分析

## ——以朱仙庄镇周边为例

高懿凡<sup>1</sup>, 马杰<sup>1\*</sup>, 冯松宝<sup>1</sup>, 周洁<sup>1</sup>, 张惜梦<sup>1</sup>, 沈孝珂<sup>1</sup>, 郑玉山<sup>2</sup>, 汪定圣<sup>3</sup>, 张子鹏<sup>1</sup>, 王富<sup>1</sup>

<sup>1</sup>宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

<sup>2</sup>宿州市自然资源与规划局地质勘察科, 安徽 宿州

<sup>3</sup>安徽省地质环境监测总站(安徽省地质灾害应急技术指导中心), 安徽 合肥

收稿日期: 2024年2月29日; 录用日期: 2024年5月17日; 发布日期: 2024年5月24日

### 摘要

为揭示朱仙庄镇矿周边的浅层地下水水化学演化特征及常规离子来源, 本研究共采集研究区20组浅层地下水样品。综合利用了描述性统计分析、Piper三线图、相关性分析、因子分析等方法, 探讨了关于研究区常规离子组成特征、地下水水化学类型及其形成原因。结果表明, 研究区pH值在7.80~8.90之间, 为弱碱性; TDS均值为516.95 mg/L, 属于淡水型; EC在272.00~1500.00 uS/cm, 平均值为1051.40 uS/cm。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>和Ca<sup>2+</sup>为研究区地下水的相对优势阴、阳离子。地下水类型以HCO<sub>3</sub>-Ca、HCO<sub>3</sub>-Ca-Na为主导。朱仙庄镇矿周边浅层地下水水岩作用主要包括硫酸盐岩矿物、硅酸盐岩矿物、碳酸盐岩矿物、岩盐矿物风化溶滤作用和阳离子交替吸附作用。

### 关键词

浅层地下水, 水化学特征, 常规例子

# Hydrochemical Characteristics and Source Analysis of the Shallow Groundwater

## —A Case Study around Zhuxianzhuang Town

Yifan Gao<sup>1</sup>, Jie Ma<sup>1\*</sup>, Songbao Feng<sup>1</sup>, Jie Zhou<sup>1</sup>, Ximeng Zhang<sup>1</sup>, Xiaoke Shen<sup>1</sup>, Yushan Zheng<sup>2</sup>, Dingsheng Wang<sup>3</sup>, Zipeng Zhang<sup>1</sup>, Fu Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

<sup>2</sup>Suzhou Bureau of Natural Resources and Planning, Suzhou Anhui

<sup>3</sup>Geo-Environment Monitoring Station of Anhui Province, Hefei Anhui

\*通讯作者。

文章引用:高懿凡, 马杰, 冯松宝, 周洁, 张惜梦, 沈孝珂, 郑玉山, 汪定圣, 张子鹏, 王富. 浅层地下水水化学特征及来源分析[J]. 自然科学, 2024, 12(3): 578-584. DOI: 10.12677/ojns.2024.123067

Received: Feb. 29<sup>th</sup>, 2024; accepted: May. 17<sup>th</sup>, 2024; published: May. 24<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In order to reveal the hydrochemical evolution characteristics and conventional ion sources of shallow groundwater around Zhuxianzhuang mine, 20 groups of shallow groundwater samples were collected in this study. The characteristics of conventional ion composition, groundwater hydrochemical types and their causes in the study area were discussed by means of descriptive statistical analysis, Piper three-line diagram, correlation analysis and factor analysis. The results show that the pH value of the study area is between 7.80 and 8.90, which is weakly alkaline; the mean value of TDS was 516.95 mg/L, belonging to freshwater type. EC was 272.00~1500.00 uS/cm, with an average of 1051.40 uS/cm.  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  are the relative dominant anions and cations of groundwater in the study area. The groundwater type is dominated by  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  and  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ . The water-rock interaction of shallow groundwater around Zhuxianzhuang Town Mine mainly includes sulfate rock minerals, silicate rock minerals, carbonate rock minerals, weathering and dissolution of rock salt minerals and cation alternating adsorption.

## Keywords

Shallow Groundwater, Hydrochemical Characteristics, Conventional Ion

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

地下水是一种复杂溶液，其溶解组分以各种形式存在。所谓组分存在形式是指构成水溶液中游离离子(包括单一离子、络阴离子)和络合物(或称离子对)的统称[1]。而浅部含水层是相对于深层承压含水层而言的，一般指埋藏深度小于 50 m 的潜水含水层、微承压含水层及第一承压含水层[2]。地下水资源主要是从大气降水、地表水以及邻近的地下水补给形成[3]，地表水通过土层慢慢渗透进入浅层土体之间的空隙，进而赋存于其空隙中。在影响地下水流场的同时，还在影响浅层地下水的水质，其中对地下水中的化学特征影响更深远[4]。由于复杂的地质水文条件，地下水流动极其缓慢，在受到工程活动影响下其污染往往过程缓慢、不易发现和难以治理[5]。浅层地下水资源作为重要淡水资源用途广泛，它不仅是城市居民用水的主要来源，也是农村生活用水的直接来源[6]。目前，针对宿州市城区的地下水水化学研究成果较丰富[7] [8] [9] [10]，袁利等[7]研究宿州平原孔隙水水化学特征，分析得出该城区地下水受大气降水和蒸发浓缩作用影响。梁华[8]对宿州市城西水源地水质测试，根据国家 III 类地下水质量标准和内梅罗指数分析的得出多数水样符合灌溉标准，少数浅层地下水遭到轻微污染。蒋少杰[9]讨论了宿州市城区浅层和中深层地下水两个含水层的水文地球化学演化过程，分析结果为主要离子均和水岩作用有关，水化学主要成分主要受硅酸盐岩和碳酸盐岩的风化溶解。邱新义[10]以宿州市城西水源地地下水为研究对象，通过氢氧稳定同位素分析得出地下水受大气降雨补给影响为主并受到蒸发作用其强度小于地表水。由于宿州市的经济支柱是农业生产且地下水水质状况稳定对乡村经济发展提供了重要保障。但目前关于宿州市矿区周边的浅层地下水水化学综合研究较少。所以，本文以城郊浅层地下水为研究对象，通过对该地区地下水水化学组分系统研究，分析其水化学特征及评价地下水体的质量状况。研究结果为研究区及其周边的水

资源质量评价和水资源管理决策方案指定提供科学依据,同时对农业灌溉性评价具有较好的指导作用[11]。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

朱仙庄镇是安徽省宿州市埇桥区黄淮海经济腹地的下辖镇,位于宿州市城区东郊,距市区距离较近,东与大店镇相连,西与城东办事处相连,北临新汴河,南傍古沱河,区位优势,交通便利。研究区地理坐标范围为东经 117°5'~117°6',北纬 33°36'~33°37',总面积为 128 平方公里。其地势平坦,海拔为 24~27 米,属暖温带季风气候,气候温和,季风盛行,降水适中但变化较大,主要集中在 7 月。该区农业经济稳步增长,新兴产业发展迅速。

### 2.2. 样品采集与分析

为分析朱仙庄镇矿周边的浅层地下水水化学类型,针对朱仙庄镇周边有代表性的地段采集 20 个水样品,样品采集均匀,采样深度在 8~60 m 范围内,采集时间为 2021 年 11 月 6 日,采样点位置的分布如图 1 所示。现场使用便携式测试仪,测定 pH、TDS 和 EC 等参数。在采样前,将 500 ml 的乙烯瓶清洗 3 次至干燥等待使用。取样时,用水样清洗样品瓶,然后装至满瓶密封。地下水样品的采集、输送及保存参照《地下水环境监测技术规范》(HT164-2020)、《水质样品的保存和管理技术规定》(HJ 493-2009)。样品于安徽省煤矿勘探工程技术中心进行常规离子检测。水样品送到安徽省煤矿勘探工程技术中心,进行常规离子测试(测试指标有阳离子  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , 阴离子有  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )。

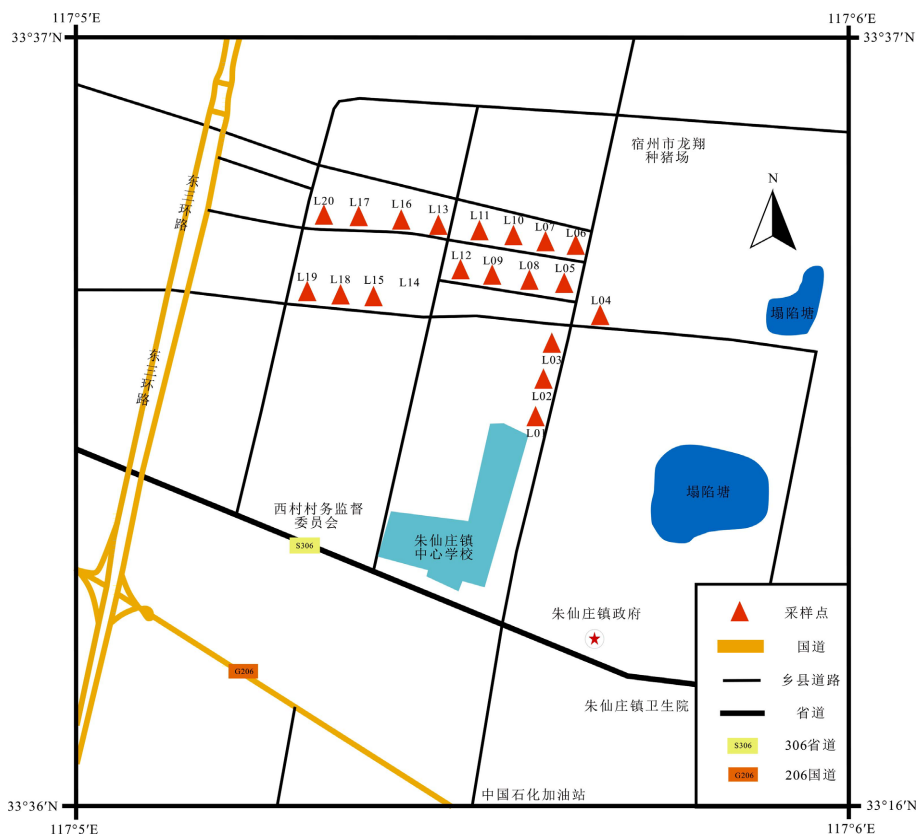


Figure 1. Distribution of sampling points in the study area

图 1. 研究区采样点分布图

### 2.3. 数据处理方法

利用 SPSS 软件对研究区浅层地下水样品数据中主要离子浓度进行描述性统计分析(最小值、最大值、均值、标准差等数值)和相关性分析。其次,使用 Origin 软件绘制出 Piper 三线图、Gibbs 图,从而辨别出该研究区的浅层地下水水化学类型和主要离子来源。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 地下水化学主要组分特征

研究区水样品水样测试结果如表 1 所示,该地区浅层地下水 pH 值范围为 7.80~8.90,平均值为 8.17,属于弱碱性水。TDS 含量范围在 395.00~727 mg/L,平均值为 516.95 mg/L,依据 TDS 划分标准属于淡水。EC 范围在 272.00~1500.00 uS/cm,平均值为 1051.40 uS/cm。在该研究区地下水中主要阳离子质量浓度平均值为:  $\text{Ca}^{2+}$  (60.89 mg/L) >  $\text{Na}^+$  (53.53 mg/L) >  $\text{Mg}^{2+}$  (49.30 mg/L) >  $\text{K}^+$  (0.58 mg/L),主要阴离子质量浓度平均值为:  $\text{HCO}_3^-$  (353.54 mg/L) >  $\text{Cl}^-$  (89.44 mg/L) >  $\text{SO}_4^{2-}$  (50.66 mg/L),  $\text{Ca}^{2+}$ 和  $\text{HCO}_3^-$  为研究区地下水的相对优势阳、阴离子。从变异系数来看, pH 值变异系数最小,表明研究区水环境稳定处于弱碱性;  $\text{K}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 和  $\text{HCO}_3^-$  空间变异较低(CV < 30%);  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  空间变异中等(CV 为 30%~100%),说明该离子含量受一定的人为活动影响。

**Table 1.** Descriptive statistics of main chemical components of shallow groundwater  
**表 1.** 浅层地下水主要化学组分描述性统计

项目	最小值	最大值	均值	标准偏差	变异系数%
$\text{Na}^+$ (mg/L)	36.28	104.50	53.53	17.30	0.32
$\text{K}^+$ (mg/L)	0.44	0.75	0.58	0.09	0.15
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	26.55	72.40	49.30	15.35	0.31
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	37.89	90.65	60.89	16.74	0.27
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	20.08	180.62	89.44	50.21	0.56
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	14.42	121.47	50.66	32.62	0.64
$\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	298.98	450.31	353.54	49.14	0.14
TDS (mg/L)	395.00	727.00	516.95	110.60	0.21
EC (uS/cm)	272.00	1500.00	1051.40	279.83	0.27
pH	7.80	8.90	8.17	0.22	0.03

### 3.2. 地下水水化学类型

Piper 三线图由三部分组成,其中左下方的三角形代表阳离子的相对摩尔百分量,右下角的三角形代表阴离子的相对摩尔百分量。向上方菱形延伸所得的交点,代表水样的阴阳离子相对含量[12]。根据研究区 Piper 三线图,如图 2 所示,大多数水样点集中于 1、3、5 区,表明大多数水样的  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  的离子浓度大于  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 和  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  为主,阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  为主。地下水类型为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  (16 组)、 $\text{HCO}_3\text{-Na}$  (4 组)为主导,  $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Mg}$  (3 组)、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$  (6 组)、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Na}$  (11 组)等多种水化学类型共存。

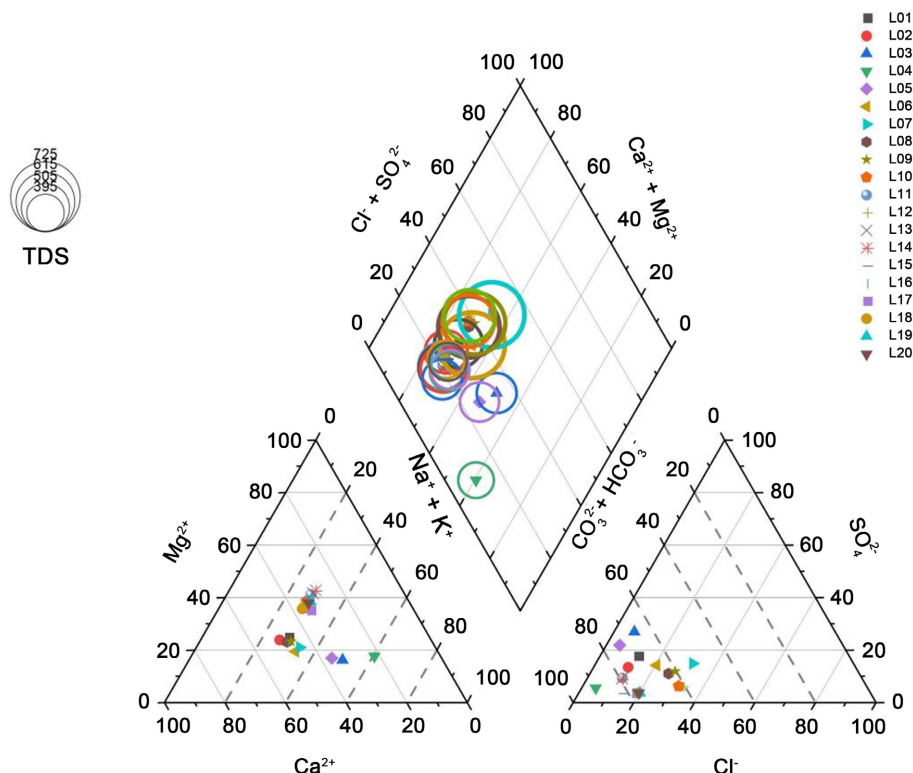


Figure 2. Hydrochemical Piper diagram of shallow groundwater  
图 2. 浅层地下水水化学 Piper 图

### 3.3. 主要离子相关性分析

根据研究区结果, 如表 2 所示, TDS 与  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Cl^-$  表现显著正相关, 相关系数分别是 0.580、0.891、0.761, 说明这三种离子对 TDS 的贡献最大。 $K^+$  和  $Ca^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Cl^-$  表现极强的正相关性, 相关系数为 0.768 和 0.635, 说明浅层地下水受阳离子交替吸附作用。 $Na^+$  和  $SO_4^{2-}$ 、 $Ca^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$ 、 $K^+$  和  $SO_4^{2-}$  表现较强的正相关性, 相关系数分别为 0.454、0.558 和 0.451, 说明浅层地下水受硫酸盐岩矿物风化溶解作用。

Table 2. Correlation coefficient between hydrochemical components  
表 2. 浅层地下水水化学组分间的相关系数

参数	$Na^+$	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Cl^-$	$SO_4^{2-}$	$HCO_3^-$	TDS
$Na^+$	1							
$K^+$	0.011	1						
$Mg^{2+}$	-0.515*	-0.309	1					
$Ca^{2+}$	0.024	0.768**	-0.236	1				
$Cl^-$	-0.207	0.357	0.318	0.635**	1			
$SO_4^{2-}$	0.454*	0.451*	-0.502*	0.558*	-0.064	1		
$HCO_3^-$	0.239	-0.071	0.274	-0.152	-0.345	-0.039	1	
TDS	0.063	0.580**	0.069	0.891**	0.761**	0.436	0.026	1

注: \*在 0.05 级别(双尾), 相关性显著; \*\*在 0.01 级别(双尾), 相关性显著。

### 3.4. 主成分分析

主成分分析方法是一种主要用于研究如何以最少的信息丢失, 将众多原始变量浓缩成少数几个因子变量, 以及如何用因子变量分析解释现实现象的多元统计分析方法[13], 分析过程对原始数据进行了标准化处理 $[Z_i = (X_i - \text{mean})/s]$ , 并利用方差最大正交旋转法对主因子进行因子旋转, 以便明确每个主因子所代表的实际意义[14]。

经旋转后, 提取出因子载荷矩阵选取特征值大于 1 的三个因子 F1、F2、F3, 结果如表 3 所示。主因子 F1 的累计贡献率为 40.241%, 其中  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、TDS 的因子载荷较大且均与 F1 呈正相关, 说明研究区该部分离子受硫酸盐岩矿物、硅酸盐岩矿物和阳离子交替吸附作用。主因子 F2 的累计贡献率为 67.832%,  $Na^+$ 和 $SO_4^{2-}$ 的因子载荷较大且与 F2 呈正相关, 说明其共同来源可能受芒硝等硫酸盐岩矿物的风化溶滤作用影响。主因子 F3 的累计贡献率为 83.132%,  $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $HCO_3^-$ 的因子载荷较大且与 F3 呈正相关, 说明其共同来源受白云石等碳酸盐岩矿物风化溶滤作用。

**Table 3.** Principal component analysis of conventional ions in shallow groundwater  
**表 3.** 浅层地下水常规离子主成分分析

指标	因子		
	F1	F2	F3
$Na^+$	-0.022	0.755	0.317
$K^+$	0.754	0.273	-0.094
$Mg^{2+}$	-0.013	-0.865	0.381
$Ca^{2+}$	0.955	0.181	-0.085
$Cl^-$	0.775	-0.462	-0.183
$SO_4^{2-}$	0.457	0.736	0.035
$HCO_3^-$	-0.115	0.042	0.96
TDS	0.956	-0.027	0.172
合计	3.219	2.183	1.248
贡献率/%	40.241	27.290	15.600
累计贡献率/%	40.241	67.832	83.132

### 4. 结论

本文以宿州市城郊朱仙庄镇周边 20 组浅层地下水为研究对象, 开展了水化学类型分析、描述性统计、相关性分析和主成分分析, 得出的结论如下:

- 1) 朱仙庄镇矿周边浅层地下水水环境 pH 值在 7.80~8.90 之间处于稳定长期弱碱性, TDS 均值为 516.95 mg/L, 依据 TDS 划分标准属于淡水。EC 范围在 272.00~1500.00 uS/cm, 平均值为 1051.40 uS/cm。
- 2)  $HCO_3^-$  和  $Ca^{2+}$  为研究区地下水的相对优势阴、阳离子。地下水类型以  $HCO_3^-Ca$ 、 $HCO_3^-Ca-Na$  为主导。
- 3) 研究区浅层地下水组分主要受硫酸盐岩矿物、硅酸盐岩矿物、碳酸盐岩矿物、岩盐矿物的风化溶滤作用和阳离子交替吸附作用。



## 基金项目

宿州学院大学生创新创业训练计划项目, YBXM23-022; 宿州学院课程思政建设研究项目, szxy2021ksjy031; 宿州学院横向项目, 2023xhx061。宿州学院新建专业质量提升项目(勘查技术与工程新建专业质量提升项目, szxy2023xjzy02); 宿州学院资助 2024 年省级大学生创新创业训练计划项目(不同功能区浅层地下水水环境质量及荧光光谱特征研究——以宿州市城乡为例)。

## 参考文献

- [1] 郭张军, 宋汉周. 地下水化学组分存在形式及其 SI 值计算[J]. 资源环境与工程, 2005(3): 200-202+219.
- [2] 吴建中, 王寒梅, 杨天亮. 浅层地下水人工回灌应用于上海市工程性地面沉降防治的试验研究[J]. 现代地质, 2009, 23(6): 1194-1200.
- [3] 顾礼明, 张晟, 金玉, 等. 浅层地下水与地表水污染物交换关系研究——以常州市老城区为例[J]. 环境科技, 2012, 25(2): 4-8.
- [4] 何炜. 渭河流域地表水浅层地下水水质演化特征及成因[J]. 水利规划与设计, 2019(8): 38-40.
- [5] 罗兰. 我国地下水污染现状与防治对策研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2008(2): 72-75.
- [6] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 张维理, 林葆. 北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2006(3): 405-413.
- [7] 袁利, 蒋少杰, 汪定圣, 等. 宿州市城区地下水化学特征及成因机制研究[J]. 地质论评, 2022, 68(4): 1555-1566. <https://doi.org/10.16509/j.georeview.2022.04.025>
- [8] 梁华. 宿州市城西水源地地下水化学特征及水质评价[J]. 科学技术创新, 2021(1): 47-49.
- [9] 蒋少杰. 宿州市城区地下水水化学特征及水文地球化学演化过程[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2022, 38(8): 20-23. <https://doi.org/10.13398/j.cnki.issn1673-260x.2022.08.015>
- [10] 邱新义. 宿州市城西水源地地下水水文地球化学研究: 应用评价与成因分析[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2022. <https://doi.org/10.26918/d.cnki.ghngc.2021.000848>
- [11] 苏耀明, 苏小四. 地下水水质评价的现状与展望[J]. 水资源保护, 2007(2): 4-9+12.
- [12] 王雅茹, 施龙青, 邱梅. 基于 Piper 三线图的矿井水化学特征分析[J]. 山东煤炭科技, 2019(4): 145-147+150.
- [13] 唐功爽. 基于 SPSS 的主成分分析与因子分析的辨析[J]. 统计教育, 2007(2): 12-14.
- [14] 秦兵, 李俊霞. 大同盆地高氟地下水水化学特征及其成因[J]. 地质科技情报, 2012, 31(2): 106-111.