

武当山幅地下水水化学特征与水体污染评价

文美霞^{1,2}, 周艳松^{1,2}, 常亮^{1,2}, 杨颖³, 易春瑶^{1,2}, 彭慧^{1,2}

¹资源与生态环境地质湖北省重点实验室, 湖北 武汉

²湖北省地质环境总站, 湖北 武汉

³湖北交投智能检测股份有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年10月8日; 录用日期: 2022年11月8日; 发布日期: 2022年11月15日

摘要

在武当山幅1:5万水文地质调查基础上, 系统采集区内地下水水样, 结合研究区水文地质条件, 根据实地调查取样统计和舒卡列夫分类法研究了区内地下水水化学特征。通过对水质结果统计分析, 进行水体污染评价。依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)统计区内采集地表水水样92个, 检测结果显示, I类水点6个, II类水点23个, III类水点22个, IV类水点8个, V类水点33个; 依据《地下水质量标准》(GB/T14818-2017)用单指标和综合评价方法, 采集的31处地下水样品统计结果为II~III类水点17个、IV类水11个, V类水3个。在前述基础上根据各类水点的分布情况并结合地下水类型分布, 对调查区地下水质量进行分区污染特征分析, 武当山幅地下水水化学特征与水体污染评价为该区防治地下水污染, 合理利用和保障饮用水安全具有十分重要的意义。

关键词

武当山幅, 地下水, 水化学特征, 水体污染评价

Wudang Mountain Range Groundwater Water Chemical Characteristics and Water Pollution Evaluation

Meixia Wen^{1,2}, Yansong Zhou^{1,2}, Liang Chang^{1,2}, Ying Yang³, Chunyao Yi^{1,2}, Hui Peng^{1,2}

¹Hubei Key Laboratory of Resources and Eco-Environmental Geology, Wuhan Hubei

²Geological Environmental Center of Hubei Province, Wuhan Hubei

³Hubei Jiaotou Smart Inspection Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Oct. 8th, 2022; accepted: Nov. 8th, 2022; published: Nov. 15th, 2022

文章引用: 文美霞, 周艳松, 常亮, 杨颖, 易春瑶, 彭慧. 武当山幅地下水水化学特征与水体污染评价[J]. 自然科学, 2022, 10(6): 1055-1067. DOI: 10.12677/ojns.2022.106118

Abstract

Based on the 1:50,000 hydrogeological survey of the Wudang Mountain area, groundwater samples were systematically collected in the area, and the groundwater chemical characteristics of the area were studied based on the field survey sampling statistics and Shukarev classification method, combined with the hydrogeological conditions of the study area. Through statistical analysis of water quality results, water pollution evaluation was carried out. Based on the Surface Water Environmental Quality Standard (GB3838-2002), 92 surface water samples were collected in the statistical area, and the test results showed that 6 water points of Class I, 23 water points of Class II, 22 water points of Class III, 8 water points of Class IV and 33 water points of Class V. Based on the Groundwater Quality Standard (GB/T14818-2017) with single index and comprehensive evaluation method, the collected 31 statistical results of the groundwater samples are 17 II~III water points, 11 IV water points and 3 V water points. On the basis of the aforementioned distribution of various types of water points and combined with the distribution of groundwater types, the groundwater quality of the survey area for zoning pollution characteristics analysis, Wudang magnitude of groundwater chemical characteristics and water pollution evaluation for the prevention and control of groundwater pollution in the area, rational use and to ensure the safety of drinking water is of great importance.

Keywords

Wudang Mountain Magnitude, Groundwater, Water Chemistry Characteristics, Water Pollution Evaluation

Copyright © 2022 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

南水北调是我国一项重大的跨流域调水工程,总调水量将达到 130 亿 $\text{m}^3/\text{年}$ [1]。武当山图幅中丹江口横跨南北,丹江口水库作为中线工程的水源地向沿线各城市供给生活用水和工业用水,其水质优劣直接关系到取水城市居民的饮用水安全[2]。党的十八大以来提出了金山银山就是绿水青山的理念,2015 年国家提出了《水十条》,因此,开展区域地下水化学特征与水体污染评价对区域水资源管理、生态环境保护和经济可持续发展具有重要意义[3]。

研究区域有大量对丹江口水库水质进行评价,在区域内对地下水水化学特征与水体污染评价为首次,为更好地做好此次评价借鉴其他区域的相关方法奠定基础。孙跃,刘中刚,侯香梦等对合肥地区浅层地下水取样分析,采用单因子评价法、分类指标评价法和综合评价法对浅层地下水质量进行评价[4]。丁启振,雷米,周金龙等运用 piper 图、相关性分析、Gibbs 图和离子比值等方法对博尔塔拉河上游河谷地区水化学特征及水质进行了评价[5]。丁国梁,杨鹏,杨鸿鹏采用单因子评价法对吉昌市平原区 34 组地下水水质监测数据进行水质评价[6]。秦娜,成文举,董方营等运用离子分析、数理统计、Piper 三线图及 Gibbs 图等方法,对东平湖地区地下水化学特征及质量进行评价[7]。杨海博,朱文峰,周良等综合运用统计分析、Piper 三线图、Gibbs 图及离子比值等水化学方法,分析地下水水化学特征,基于模糊综合评价法对肥城盆地区域地下水化学特征及水质进行评价[8]。综上所述,各种地下水化学特征和地下水质量评价方

法都有优缺点,有各自适宜的范围和条件[9],地下水饮用安全问题一直是关系社会稳定、人民群众身体健康的民生大事,而近几年对武当山幅地下水水化学特征评价文章较少,本文利用实地调查取样统计分析法、舒卡列夫分类法、单指标评价法、综合评价法对地下水化学特征和水体污染进行评价,为该區防治地下水污染,合理利用和保障饮用水安全具有十分重要的意义。

2. 研究区概况

研究区在水文地质方面的研究成果为八十年代初,湖北省水文地质大队完成湖北省水文地质图(1:50万)、谷城幅 1:20 万水文地质调查报告。由于工作开展的时代较久,填图比例尺小,限于工作精度,仅可在一定程度上指导本区域开展水文地质调查工作。1:50 万湖北省水文地质图虽然覆盖了全区,受精度所限,利用价值不大,仅可作为参考。综前所述,前人工作只限于小比例尺水文地质普查,基础地质工作薄弱,工作精度低,严重制约着研究区城镇、生态文明的建设和发展。本次研究为提高工作精度进行 1:5 万武当山幅的水文地质调查,在实地调查的基础上进行地下水水化学特征与水体污染研究。

研究区地理坐标东经 111°00'~111°15',北纬 32°30'~32°40',图幅内包括丹江口市 1 个经济特区、5 个乡镇:武当山经济特区、均县镇、习家店镇、六里坪镇、土台乡、丁家营镇。区内主要由构造剥蚀中低山区,剥蚀丘陵区,构造盆地三个地貌单元组成,海拔标高在 300 m 以下,地形高差较小,受人工改造剧烈。研究区属北亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充沛,四季分明。多年平均气温 15.6℃~16℃之间。最高气温是 7 月,最低气温是 1 月,降雨量在各区域分布各不相同,表现为由东南向西北递减。暴雨多发生在 3~10 月,7~8 月是暴雨高发期。研究区水资源丰富地表水主要有涧河、官山河、寨河三条,流域面积 668.10 km²,最终汇入丹江水库。

研究区根据岩石的生成条件及岩性特征,结合岩土体结构、岩石的物理力学性质及工程地质特征,将区内岩土体划分为松散岩类、碎屑岩类、片状变质岩类、块状岩浆岩类四大工程地质岩类及砂、砂(砾)石、粉砂土工程地质岩组、松软可塑含碎石粉质粘土工程地质岩组、软-较软薄-中厚层状砾岩、粉砂岩工程地质岩组、较软-较坚硬变粒岩与软弱片岩互层工程地质岩组、较软-较硬侵入岩工程地质岩组五个岩组。

3. 水文地质条件

3.1. 地下水类型

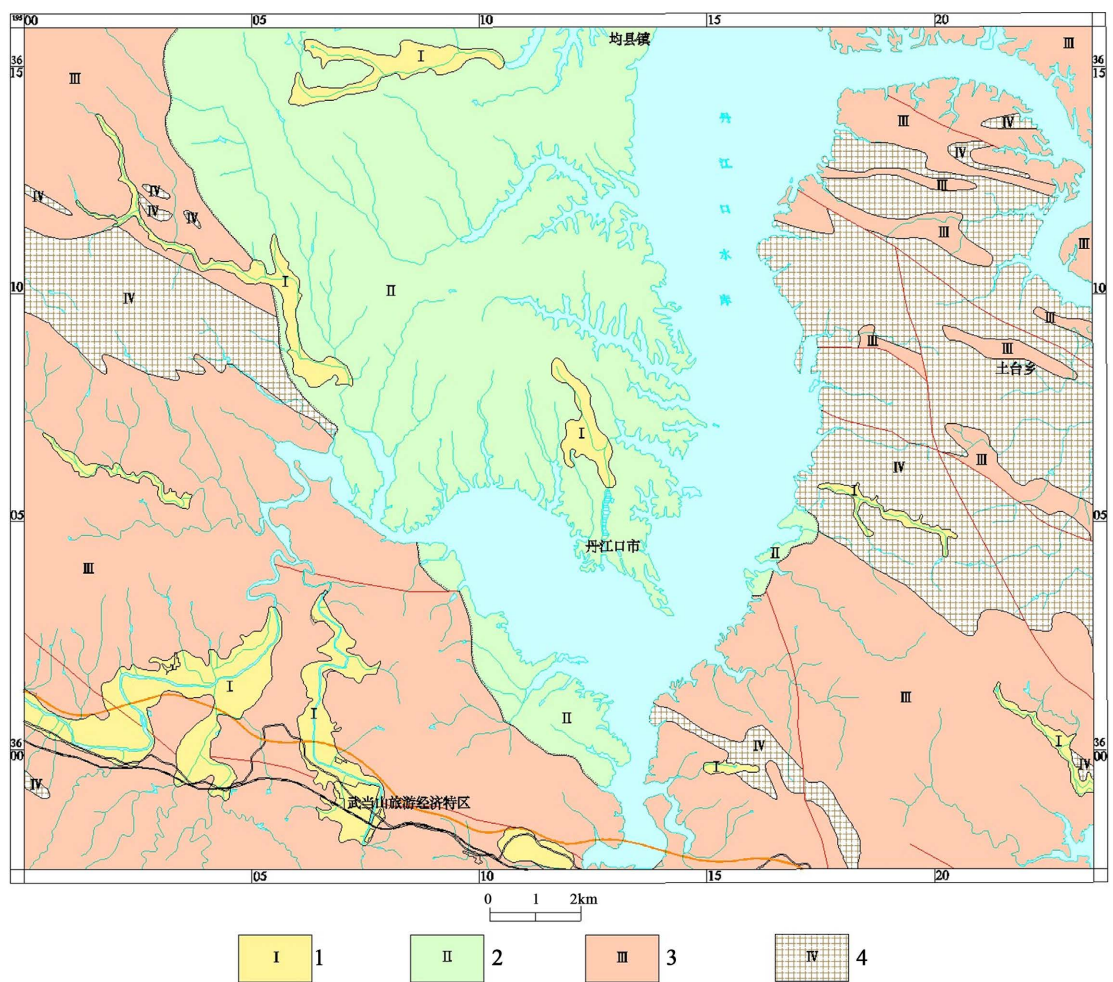
研究区地下水类型,按地下水的赋存条件、含水岩组的水理性质及水动力特征等因素,与地下水的赋存条件、含水岩组的水理性质及水动力特征等因素,地下水类型分为松散土体类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、变质岩风化裂隙水三大类,分布情况见图 1。

元古代 Pt3 $\beta\mu$,侵入岩,岩性为变辉绿岩和变辉长辉绿岩。零星分布在图幅内,地下水主要赋存于侵入岩的风化带中。

3.2. 地下水补径排动态特征

地下水的补给主要来源于大气降水的入渗以及丹江水库、河流地表的渗入。南部山区降水量大于其他地区,则大气降水补给量大于其他地区,丹江库区常年地表水补给量大于库区外地区,所以各地地下水的补给形式、补给量是有区别的。

地下水的迳流受地层、岩性、构造、地形等条件的制约。在盆地区地下水迳流较迟缓,水位埋深较浅;在变质岩风化裂隙水含水岩组分布区,地下水多沿构造带,层间裂隙、层理面流动,迳流距离短,迳流途径不畅;在碎屑岩类裂隙水含水岩组分布区,地下水在裂隙孔隙中迳流途径短,迳流较顺畅,补给源多呈分散状排泄于河谷中,地下水动态受季节控制,总体上地下水是由高处往低洼地区流动。



1、松散岩类裂隙水；2、碎屑岩类空隙、裂隙水；3、变质岩类裂隙水；4、相对隔水层。

Figure 1. Groundwater type zoning map of the study area
图 1. 研究区地下水类型分区图

公路断裂以南地区地下水排泄多向低洼、河流、溪沟排泄为主，在北部则主要向丹江水库及其支流排泄，丹江水库地表水与周边库区岩石中地下水相互补给，枯水期水库水位下降，则岩石裂隙水补给库区，在丰水期则水库地表水补给岩石中地下水。

4. 地下水化学特征

区内地下水的化学成分是在长期的地质环境发展变化过程中，经过溶滤、浓缩、吸附交替等综合作用形成的，主要受自然地理条件、地质(构造、含水层及包气带岩性)、水文地质(地下水的补给、径流和排泄)、原生地球化学环境等条件和人为活动等多种因素的影响，从而形成不同的水化学类型。研究区从2017年10月至2018年10月进行取样，根据本次地下水取样分析结果，研究区内地下水大多无色透明、口感适中，PH值多在6.8~7.4之间，属中性~弱碱性水。全区地下水矿化度多在0.13~0.83 g/L之间，为淡水。总硬度在48.98~524.4 mg/L之间，大都属于中硬度水(150~300 mg/L)。其中两个样品为高硬度(总硬度 > 450 mg/L)主要分布在均县镇关门岩村何家沟、华家沟，属于松散土体类孔隙水。

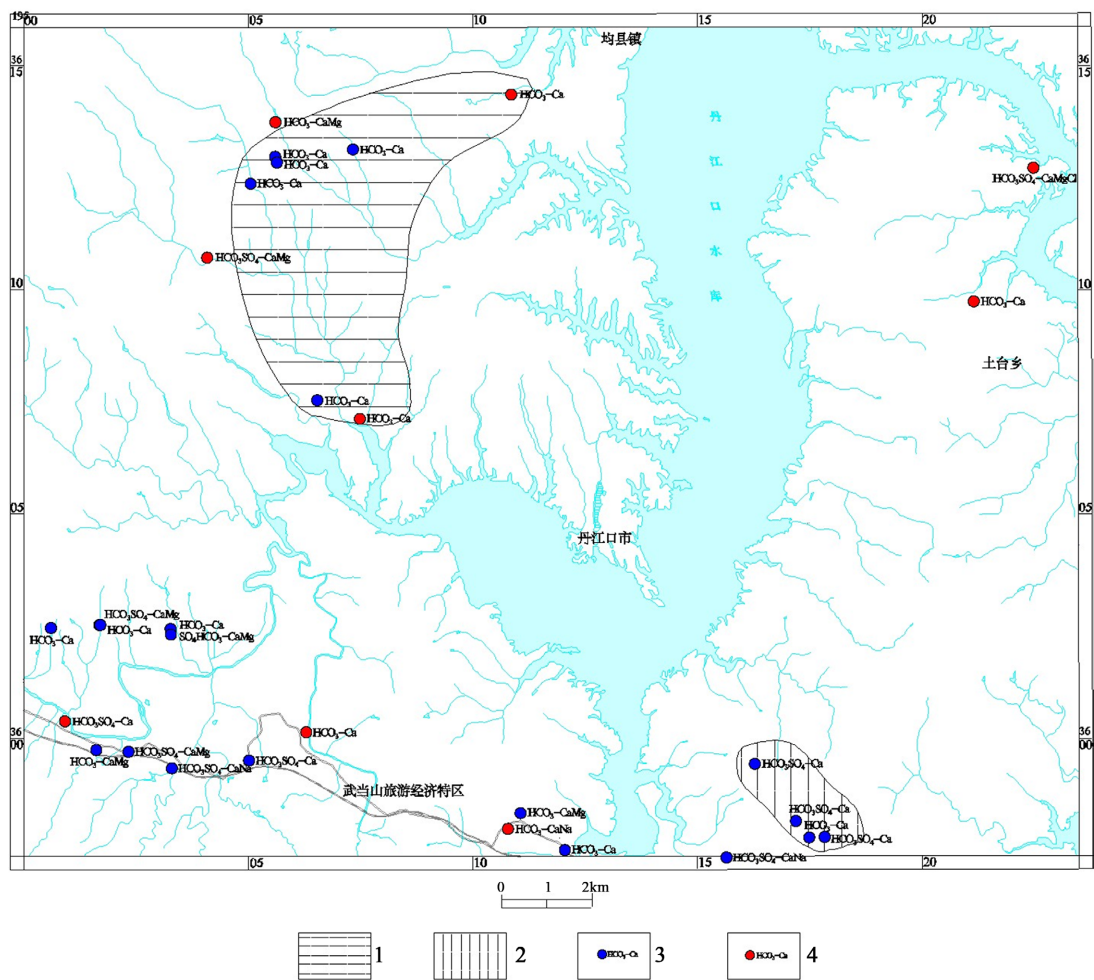
按照舒卡列夫分类法对全区地下水样点进行划分，区内地下水按数量依次为碳酸钙型($\text{HCO}_3\text{-Ca}$)、碳酸硫酸钙型($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$)型、碳酸硫酸钙镁型($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca.Mg}$)型及碳酸钙镁型($\text{HCO}_3\text{-Ca.Mg}$) (详见

表 1)。从分布规律看(详见图 2), 碳酸钙型($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) 14 个, 约占样品数量的 46.7%, 该类型水主要分布在均县盆地丘陵低洼区的第四系松散土体及碎屑岩中。碳酸硫酸钙型($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$) 5 个占样品数量的 16.7%, 主要分布在湖北省丹江口市龙山镇梅子沟村 1 组, 其地下水化学类型与周边出露基性岩浆岩有关。其他类型地下水在区内分布较杂乱, 无规律性, 主要受人类工程活动影响。

Table 1. Statistics of groundwater chemical types in the study area

表 1. 研究区地下水化学类型统计表

统一编号	含水层岩性	含水层类型	地下水化学类型	位置
MJ-D179	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMg}$	六里坪镇孙家湾村 1 组
MJ-D181	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaNa}$	六里坪镇蒿口村 4 组
MJ-D184	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$	六里坪镇蒿口村 5 组
MJ-D186	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	六里坪镇马家岗村 3 组
MJ-D187	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMg}$	六里坪镇马家岗村 3 组
MJ-D192	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	均县镇核桃园村 1 组
MJ-D194	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	均县镇核桃园村 1 组
MJ-D195	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	均县镇三里坡村 6 组
MJ-D203	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	均县镇寨河村 1 组
MJ-D205	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	均县镇朱家湾村 2 组
MJ-D355	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-CaMg}$	遇真宫村 3 组
MJ-D370	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	六里坪镇江家沟村
MJ-D375	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMg}$	六里坪镇孙家湾村 13 组
MJ-D376	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	六里坪镇孙家湾村 13 组
MJ-D399	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$	龙山镇梅子沟村 1 组
MJ-D409	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$	武当山区龙王沟村 3 组
MJ-D419	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	武当山镇遇真宫村
MJ-D421	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaNa}$	龙山镇梅子沟村 5 组
MJ-D442	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	龙山镇梅子沟村 1 组
MJ-D447	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$	武当山区梅子沟村
MJ-D449	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-CaMg}$	六里坪镇孙家湾村 4 组
SZK02	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$	六里坪村六组
SZK11	粉砂岩	碎屑岩类裂隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	均县镇碾子沟村
SZK10	粉砂岩	碎屑岩类裂隙水	$\text{HCO}_3\text{-CaMg}$	均县镇核桃园村
SZK08	变辉绿岩	基岩裂隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMg}$	均县镇孤山庙村
SZK05	含砾粉质粘土	松散土体类孔隙水	$\text{HCO}_3\text{-CaNa}$	武当山镇遇真宫村
SZK07	粉砂岩	碎屑岩类裂隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	均县镇二房院村
SZK03	绢云钠长变粒岩	变质岩风化裂隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	武当山镇老营村
SZK12	绢云钠长石英片岩	变质岩风化裂隙水	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMgCl}$	龙山镇彭家河村
SZK09	变辉绿岩	基岩裂隙水	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	龙山镇史家山村



1、碳酸钙型(HCO₃-Ca); 2、碳酸硫酸钙型(HCO₃SO₄-Ca); 3、机民井及水化学类型; 4、钻及水化学类型。

Figure 2. Sketch of groundwater chemical type distribution
图 2. 地下水化学类型分布略图

5. 水体污染评价

5.1. 地表水质量综合评价

依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)统计区内调查采集的 92 个地表水水样检测结果显示, I 类水点 6 个, II 类水点 23 个, III 类水点 22 个, IV 类水点 8 个, V 类水点 33 个(详见表 2)。

Table 2. The quality level statistics of water quality analysis results in the study area
表 2. 研究区水质分析结果质量等级统计表

类型\质量等级	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	合计
地表水	6	23	22	8	33	92

IV、V 类水点共 41 个, 占地表水样品总数的 44.57%。41 个 IV、V 类水样品中除 2 个为 Zn 超标, 其余 39 个样品均为氨氮超标。研究区 IV、V 类水点主要集中在武当山经济特区的涧河、官山河、黄峰河、寨河沿岸及其支流沿岸, 超标地表水分布情况(详见图 3)。

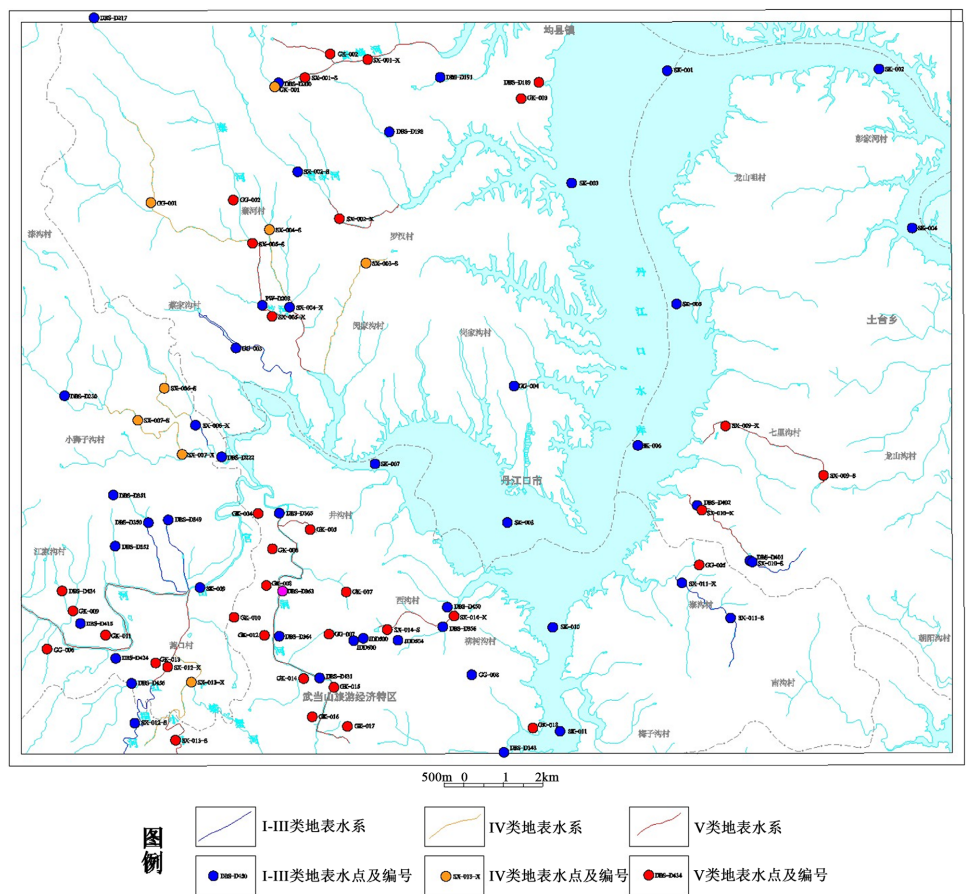


Figure 3. Comprehensive evaluation map of surface water environmental quality in the study area
图 3. 研究区地表水环境质量综合评价图

39 个 IV、V 类水样品氨氮大都为水库养殖水样品，说明区内地表水受生活污水及养殖业污染情况较严重。受污染的地表水在入渗补给地下水后，污染成分也会随之迁移进入地下水系统，对地下水造成污染。

5.2. 地下水环境质量评价

5.2.1. 评价指标

本次研究对采集的水质样品进行的测试项目主要分为简分析、全分析、污染有机组分分析四类，具体测试指标如下：

- 1) 简分析：颜色、浑浊度、嗅和味、PH 值、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 F^- 、硬度、溶解性总固体等。
- 2) 全分析：在简分析项目基础上增加 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cr_6^+ 、 Mn^{2+} 、 Hg^+ 、 Al^{3+} 、可溶性 SiO_2 、耗氧量(COD)和游离 CO_2 。
- 3) 有机组分分析：卤代烃、单环芳烃、有机氯农药、多环芳烃。
- 4) 单项分析：pH、氯离子、游离二氧化碳、侵蚀 CO_2 、硫酸根、碳酸氢根、碳酸根、氢氧根、钾离子、钠离子、钙离子、镁离子、总硬度、总碱度、溶解性总固体、铵根、全铁、硝酸根、亚硝酸根、氟离子、磷酸根、偏硅酸、耗氧量、氰化物、硒、锰、六价铬、三价铬、铅、汞、砷、镉、溶解氧、硫化氢。

本次研究评价依据样品测试结果，对照《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)指标进行评价，主要指标及分类标准(详见表 3)，其中有机样品因均未检出本次不再列出。

Table 3. Groundwater quality classification index table
表 3. 地下水质量分类指标表

序号	测试项目	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	pH		6.5~8.5		5.5~6.5, 8.5~9.0	5.5, >9.0
2	总硬度(以 CaCO ₃ 计) (mg/L)	≤150	≤300	≤450	≤650	>650
3	溶解性总固体(mg/L)	≤300	≤500	≤1000	≤2000	>2000
4	硫酸盐(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
5	氯化物(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
6	铁 Fe (mg/L)	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤2.0	>2.0
7	锰 Mn(mg/L)	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤1.5	>1.5
8	硝酸盐(以 N 计) (mg/L)	≤2.0	≤5.0	≤20	≤30	>30
9	亚硝酸盐(以 N 计) (mg/L)	≤0.01	≤0.1	≤1.0	≤4.8	>4.8
10	氨氮 NH ₄ (mg/L)	≤0.02	≤0.1	≤0.5	≤1.5	>1.5
11	氟化物(mg/L)	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0
12	汞 Hg (mg/L)	≤0.0001	≤0.0001	≤0.001	≤0.002	>0.002
13	铬(六价) Cr ⁶⁺ (mg/L)	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
14	氰化物(mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
15	铅 Pb (mg/L)	≤0.005	≤0.005	≤0.01	≤0.1	>0.1
16	砷 As (mg/L)	≤0.001	≤0.001	≤0.01	≤0.05	>0.05
17	硒 Se (mg/L)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.1	>0.1
18	镉 Cd (mg/L)	≤0.0001	≤0.001	≤0.005	≤0.01	>0.01

单指标评价是根据评价指标中的各项评价因子的测试结果与标准进行比对并进行分类，不同类别标准值相同时，遵从“从优不从劣”的原则[10] [11] [12] [13]，如 pH 值 I、II、III 类标准均为 6.5~8.5，若测试结果位于该区间，则归为 I 类，而不归为 II 或 III 类；综合评价是依据《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)：地下水质量综合评价、按单指标评价结果最差的类别确定，并指出最差类别指标进行评价。

5.2.2. 地下水质量综合评价

依据《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)，根据采集的 31 处地下水样品统计结果可知(表 4)，II~III 类水点 17 个、IV 类水 11 个，V 类水 3 个。IV~V 超标样品总数 14 个，占总数 45.16% (表 5)。

Table 4. Comprehensive evaluation statistics of groundwater quality
表 4. 地下水质量综合评价统计表

序号	样品编号	质量等级	最差类别指标
1	MJ-D179	4	总铁
2	MJ-D181	3	
3	MJ-D184	3	
4	MJ-D186	4	硝酸根
5	MJ-D187	3	
6	MJ-D192	4	锰离子

Continued

7	MJ-D194	4	总硬度
8	MJ-D195	3	
9	MJ-D203	3	
10	MJ-D205	3	
11	MJ-D355	5	总铁
12	MJ-D370	3	
13	MJ-D375	3	
14	MJ-D376	4	锰离子
15	MJ-D399	2	
16	MJ-D409	2	
17	MJ-D419	3	
18	MJ-D421	2	
19	MJ-D442	3	
20	MJ-D447	3	
21	MJ-D449	3	
22	SZK02	4	锰离子、铅离子
23	SZK11	4	铅离子
24	SZK10	4	总铁、铅离子
25	SZK08	4	氟化物、锰离子
26	SZK05	5	总铁
27	SZK07	3	
28	SZK03	5	总铁
29	SZK12	4	总硬度、硝酸根、总铁、锰离子
30	SZK09	4	总铁、锰离子
31	MJ-D425	3	

Table 5. Statistics of groundwater quality grades in the study area**表 5.** 研究区地下水质量等级统计表

类型\质量等级	II 类	III 类	IV 类	V 类	合计
地表水	3	14	11	3	31

根据采集样品含水层岩性特征, 主要分为松散土体孔隙水、碎屑岩类裂隙及变质岩、基岩类裂隙水三类。三类不同含水介质样品中, 松散土体孔隙水环境质量最差, IV、V 类水超标样品总数 8 个, 占样品总数 25.8%。碎屑岩孔隙裂隙水 IV、V 类水超标样品总数 2 个, 占样品总数的 6.45%。变质岩、基岩类裂隙水环境质量 IV、V 类水超标样品总数 4 个, 占样品总数的 12.9% (详见表 6)。

根据各类水点的分布情况并结合地下水类型分布, 对研究区地下水质量进行分区, 分区结果显示, I~III 类地下水的分布区面积约为 335.32km², 占研究区面积的 77.29%, IV~V 类分布区面积约为 21.07 km², 占研究区面积的 4.86% (表 7)。

Table 6. Classification and evaluation statistics of groundwater environmental quality of different water-bearing media types
表 6. 不同含水介质类型地下水环境质量分类评价统计表

含水层介质类型	松散土体孔隙水	碎屑岩类裂隙水	基岩类裂隙水	合计
样品总数(个)	24	3	4	31
超标样品总数(个)	8	2	4	14
IV 类样品数(个)	6	2	3	11
V 类样品数(个)	2		1	3

Table 7. Statistical list of water quality zoning area in the study area
表 7. 研究区水质分区面积统计一览表

水质类别	分布面积(km ²)	占研究区面积(%)
I~III类水分布区	335.32	77.29
IV~V类水分布区	21.07	4.86

分析认为，三种含水介质地下水环境质量不同，与污染源分布、地下水循环特征有密切关系。垃圾废弃物、工业废渣、农业源污染等污染源成分会随降雨入渗，直接入侵最表层的松散土体孔隙水，水质最易直接受人类活动影响。而碎屑岩类裂隙水及变质岩裂隙水岩土体透水性较差，当地下水系统受到污染时，污染物的扩散速度也较慢。因此在降雨汇流补地下水系统过程中，容易保持较为良好的水质环境(详见图 4)。

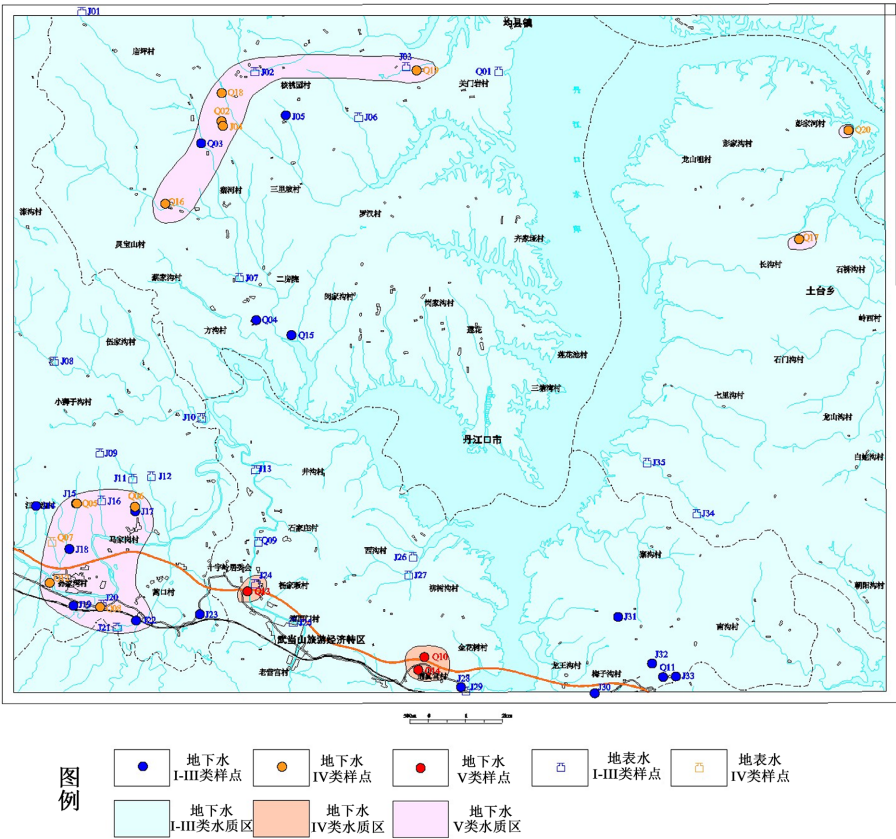


Figure 4. Groundwater quality zoning map
图 4. 地下水质量分区图

1) 松散土体孔隙水污染特征分析

第四系全新统冲积物(Qh^{al})松散土体主要分布于芝河、涧河河流一级阶地及遇真宫等地,由粉质粘土、砂、砾石层组成,构成河流一级阶地,可见厚度 > 8 m。本次研究取样 23 个主要来至松散土体孔隙水(21 个民井, 2 个钻孔)。

根据松散土体类孔隙水单因子指标评价结果显示(详见表 8、图 5),影响地下水水质的主要指标为 IV 类水污染因子主要包括总硬度、Fe、Mn、NO₃⁻、Cd、Pb、NH₄⁺。V 类水污染超标因子为总铁。分析认为除总硬度、Fe、Mn 可能与地质自然背景值有关外, NH₄⁺ 超标的分布位置位于人口密集区,应与生活垃圾堆放和生活污水排放有关。总铁、NO₃⁻、Cd、Pb 污染较为严重的区域主要分布在六里坪镇六里坪村六组、均县镇碾子沟村,武当山旅游经济特区遇真宫村,老营村等人类活动聚集的区域,与生活、工业污水排放有关。

2) 碎屑岩类裂隙水污染特征分析

白垩系寺沟组(Ks)碎屑岩主要分布于图幅北部均县镇盆地西缘长岭岗-朱家湾-田沟一带,八家院、井沟及盆地中部庄家院、南沟、张家沟一带。岩性为一套紫红色厚-巨厚层砾岩,夹中厚层细砂岩及薄层砂质砾岩,中厚层含砾砂岩、细砂岩夹中厚层泥质、钙质粉(细)砂岩。本次研究取样 3 个主要来至碎屑岩类裂隙水(3 个钻孔)。

根据碎屑岩类裂隙水单因子指标评价结果显示,影响地下水水质的主要指标 IV 类水污染因子主要包括总铁、Pb (详见表 9)。分析认为总铁、Pb 污染与生活、工业污水排放有关。

Table 8. Evaluation table of single-factor index of pore water of loose soil body

表 8. 松散土体孔隙水单因子指标评价表

评价项目	参评井数(个)	I~III 类		IV 类		V 类	
		数量(个)	比例(%)	数量(个)	比例(%)	数量(个)	比例(%)
总硬度	23	22		1	4.3		
溶解性总固体	23	23	100				
Cl ⁻	23	23	100				
SO ₄ ⁻	23	23	100				
NO ₃ ⁻	23	22	95.7	1	4.3		
NO ₂ ⁻	23	23	100				
NH ₄ ⁺	23	22	95.7	1	4.3		
总铁	23	19	82.6	2	8.7	2	8.7
F ⁻	23	23	100				
Cu	23	23	100				
Mn	23	17	73.9	6	26.1		
Zn	23	23	100				
Cr	23	23	100				
As	23	23	100				
Pb	23	22	95.7	1	4.3		
Cd	23	22	95.7	1	4.3		

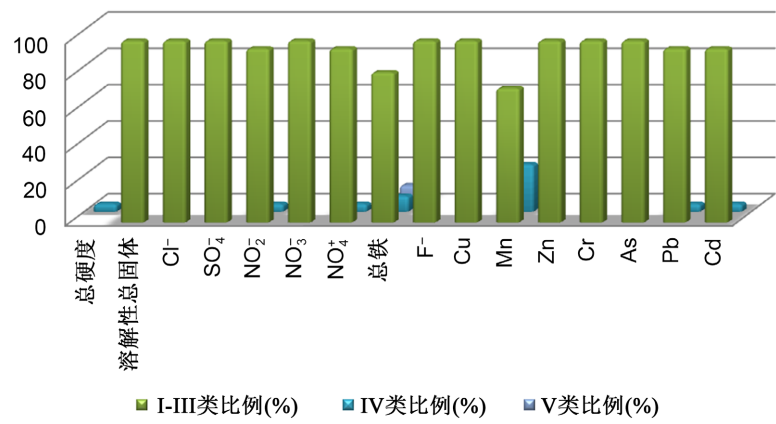


Figure 5. Histogram of single-factor index evaluation of pore water part of loose soil class
图 5. 松散土体类孔隙水部分单因子指标评价柱状图

Table 9. Fracture water pollution index evaluation table of clastic rock type
表 9. 碎屑岩类裂隙水污染指标评价表

样品编号	样品类型	地理位置	质量等级	影响因子
SZK11	碎屑岩类裂隙水	丹江口市均县镇碾子沟村	IV 类	Pb
SZK10	碎屑岩类裂隙水	丹江口市均县镇桃园村	IV 类	总铁、Pb
SZK07	碎屑岩类裂隙水	丹江口市均县镇二房院村	III 类	

3) 变质岩、基岩类风化裂隙水污染特征分析

元古代青白口系青白口系武当岩群(Qby、Qbs)钠长变粒岩, 含(晶)岩屑绢(白)云石英钠长片岩、钠长浅粒岩及绢云绿帘钠长变粒岩。主要分布在工作区南部及东部。本次研究变质岩风化裂隙水取样 4 个(详见表 10)。

Table 10. Metamorphic rocks, bedrock fracture water pollution indicators evaluation table
表 10. 变质岩、基岩裂隙水污染指标评价表

样品编号	样品类型	地理位置	质量等级	影响因子
SZK03	变质岩风化裂隙水	丹江口市武当山旅游经济特区老营村	V类	总铁
SZK12	变质岩风化裂隙水	丹江口市龙山镇彭家河村	IV类	NO ₃ ⁻ 、总铁、Mn
SZK08	基岩裂隙水	丹江口市均县镇孤山庙村	IV 类	F ⁻ 、Mn
SZK09	基岩裂隙水	丹江口市龙山镇史家山村	IV 类	总铁、Mn

根据单因子指标评价结果分析认为除 F⁻、Mn 可能与地质自然背景值有关外, 总铁、NO₃⁻ 污染较为严重的区域主要分布在武当山旅游经济特区老营村、丹江口市龙山镇彭家河村等人类活动聚集的区域, 与生活、工业污水排放有关。

6. 结论

1) 地下水化学特征: 按照舒卡列夫分类法对研究区地下水样点进行划分, 区内地下水按数量依次为碳酸钙型(HCO₃-Ca)、碳酸硫酸钙型(HCO₃SO₄-Ca)型、碳酸硫酸钙镁型(HCO₃SO₄-Ca.Mg)型及碳酸钙

镁型($\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$)。从分布规律看, 碳酸钙型($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) 14 个, 约占样品数量的 46.7%, 该类型水主要分布在均县盆地丘陵低洼区的第四系松散土体及碎屑岩中。碳酸硫酸钙型($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-Ca}$) 5 个占样品数量的 16.7%, 主要分布在湖北省丹江口市龙山镇梅子沟村 1 组, 其地下水化学类型与周边出露基性岩浆岩有关。其他类型地下水在区内分布较杂乱, 无规律性, 主要受人类工程活动影响。

2) 水体污染: 研究区内调查采集的 92 个地表水水样检测结果显示, I 类水点 6 个, II 类水点 23 个, III 类水点 22 个, IV 类水点 8 个, V 类水点 33 个。

IV、V 类水点共 41 个, 占地表水样品总数的 44.57%。41 个 IV、V 类水样品中除 2 个为 Zn 超标, 其余 39 个样品均为氨氮超标。研究区 IV、V 类水点主要集中在武当山经济特区的涧河、官山河、黄峰河、寨河沿岸及其支流沿岸。

3) 地下水质量综合评价: 根据研究区采集的 31 处地下水样品统计结果, 对研究区地下水质量进行了综合评价并进行了分区, II~III 类水点 17 个、IV 类水 11 个, V 类水 3 个。IV~V 超标样品总数 14 个, 占总数 45.16%。I~III 类地下水的分布区面积约为 335.32 km^2 , 占研究区面积的 77.29%, IV~V 类分布区面积约为 21.07 km^2 , 占研究区面积的 4.86%。

4) 根据研究区采集样品含水层岩性特征, 研究区分为松散土体孔隙水、碎屑岩类裂隙及变质岩、基岩类裂隙水三类。按照各类水点的分布情况并结合地下水类型分布, 对研究区地下水质量进行分区污染特征分析, 为防治地下水污染, 合理利用和保障饮用水安全具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 仇茂龙, 王亚芹, 苏博. 丹江口水库及入库支流水质评价[J]. 南阳师范学院学报, 2022, 21(3): 8-14.
- [2] 刘梦琴, 陈雯, 赵清韬. 南水北调中线工程河南受水区高质量发展评价[J]. 南阳师范学院学报, 2022, 21(1): 8-13.
- [3] 杨森, 李义连, 姜凤成, 等. 高店子幅水化学特征及水质评价[J]. 地质科技情报, 2019, 38(2): 226-234.
- [4] 孙跃, 刘中刚, 侯香梦, 等. 安徽合肥地区浅层地下水质量评价[J]. 华东地质, 2019, 40(1): 74-80.
- [5] 丁启振, 雷米, 周金龙, 等. 博尔塔拉河上游河谷地区水化学特征及水质评价[J]. 干旱区研究, 2022, 39(3): 829-840.
- [6] 丁国梁, 杨鹏, 杨鸿鹏. 昌吉市平原区地下水水质评价[J]. 地下水, 2019, 41(5): 7-10.
- [7] 秦娜, 成文举, 董方营, 等. 东平湖地区地下水化学特征及质量评价[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(24): 10434-10442.
- [8] 杨海博, 朱文峰, 周良, 等. 肥城盆地区域地下水化学特征及水质评价[J]. 山东国土资源, 2020, 36(2): 50-55.
- [9] 冯波. 石嘴山市浅层地下水水化学特征分析及水质评价[D]: [硕士学位论文]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- [10] 白玉娟, 殷国栋. 地下水水质评价方法与地下水研究进展[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(3): 115-119.
- [11] 文冬光, 林良俊, 孙继朝, 等. 中国东部主要平原地下水质量与污染评价[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2012, 37(2): 220-228.
- [12] 张兆吉, 费宇红, 郭春艳, 等. 华北平原区域地下水污染评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(5): 1456-1461.
- [13] 文冬光, 林良俊, 孙继朝, 等. 区域性地下水有机污染研究与评价方法[J]. 中国地质, 2008, 35(5): 815-819.