

水文地质条件对矿泉水赋存的控制作用研究

——基于A地的勘察实践

何黎明*, 刘亚兰

(安徽省地勘局第一水文工程地质勘察院, 安徽 蚌埠 233000)

摘要:本研究基于A地的饮用天然矿泉水资源勘察实践, 通过对其地质背景和构造条件分析、水文地质条件调查以及矿泉水水质评价, 揭示了矿泉水形成的水文地质过程及其影响因素和水文地质条件对矿泉水赋存的控制作用。勘察成果表明, 特定的地层结构与构造特征、地下水类型及补给排泄条件共同决定了矿泉水的赋存状态与水质特征。本研究也为类似地区矿泉水资源勘察与评价提供了重要的案例和相关依据。

关键词:水文地质条件; 矿泉水赋存; 地质背景; 水质评价

中图分类号: P641.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2736(2025)02-0054-8

0 引言

饮用天然矿泉水作为珍贵的自然资源, 不仅满足了人们对高品质饮用水的需求, 还促进了地方经济的发展。然而, 矿泉水的赋存状态与水质特征受到复杂的水文地质条件的影响^[1]。本研究基于A地的饮用天然矿泉水资源勘察实践, 旨在深入探讨水文地质条件对矿泉水赋存的控制作用。通过对A地详细的地质背景分析、水文地质条件调查以及矿泉水水质评价^[2], 本研究旨在揭示矿泉水形成的水文地质过程及其影响因素, 为类似地区的矿泉水资源勘察与评价提供科学依据和技术参考。

1 研究区域地质背景

1.1 区域地质概况

A地地质构造复杂, 地层从太古界到新生界齐全, 为矿泉水赋存提供了良好条件。新生界第四系广泛分布, 影响矿泉水的补给和排泄。中生界侏罗系及上元古界震旦系、下元古界宿松岩群地层裂隙发育, 有利于地下水储存和运移。A地岩浆活动频繁, 岩浆岩占基岩面积2/3以上, 主

要为片麻状岩石, 其强变形带及裂隙、节理有利于地下水储存。这些复杂的地层、岩性及岩浆岩发育情况共同构成了A地矿泉水赋存的有利地质背景, 对矿泉水的水质特征也有重要影响。

1.2 地形地貌特征

A地域位于某中部边陲的一镇西北村落, 地形复杂, 以中、低山地为主体, 地势西北高、东南低, 海拔高度1755至90m, 相对高差大。地貌类型多样, 包括河谷平原、丘陵、低山和中山, 勘察区域主要在低山与丘陵的过渡地带。矿泉水水源地位于地势较高、大河贯穿的区域, 水资源丰富。这样的地形地貌有利于地下水的补给与径流, 为矿泉水的形成与赋存提供了有利条件。该区域独特的水文地质背景, 对矿泉水的赋存与水质特征产生了深远影响。

1.3 气象与水文条件

该地区位于亚热带季风气候区, 年均气温13.8℃至15.4℃, 最热月(7月)平均气温26.3℃, 最低月(1月)平均气温2℃。年均降水量1498mm, 主要集中在4至8月, 占全年68.1%。地形复杂, 高差大, 河流纵横, 小气候差异明显。区域内沟壑纵横, 有大小河流900余条, 河道总长11053.6km,

流域面积占县域面积的 22.6% 和 77.4%。区域内两条大河贯穿而过,主要为皖河水系的皖水、潜水,水资源丰富,建有大小龙潭等中小型电站 6 座。河流流量受降水控制,最大流量 $2180\text{m}^3/\text{s}$,水位最高 370.363m (1969 年),可干涸至 363.393m 以下。上述条件均说明本地区地表水资源丰富。

2 水文地质条件分析

2.1 地下水类型与分布

在 A 地,地下水的赋存和分布主要受地质构造和地貌条件的影响。根据勘察资料,A 地的地下水类型主要分为松散岩类孔隙含水岩组和基岩裂隙含水岩组,水文地质条件如图 1 所示,水文地质剖面图如图 2 所示。

2.1.1 松散岩类孔隙含水岩组

松散岩类孔隙含水岩组分为冲洪积层砂砾岩孔隙水和残坡积风化壳碎石土孔隙水。冲洪积层砂砾岩孔隙水主要分布于山间河谷,结构松散且透水性强,单井涌水量 $100 \sim 500\text{m}^3/\text{d}$,水质 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 或 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$ 型,矿化度 $59 \sim 510\text{mg/L}$ 。残坡积风化壳碎石土孔隙水主要分布于山前斜坡及坡脚,黏土质含量高,多为上层滞水,富水性弱,单井涌水量小于 $10\text{m}^3/\text{d}$,水质 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型或 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Na} \cdot \text{Ca}$ 型,矿化度 $87.14 \sim 103.17\text{mg/L}$ 。

2.1.2 基岩裂隙含水岩组

基岩裂隙含水岩组含风化壳网状裂隙水、块状岩类裂隙水和断层脉状水。其中,风化壳网状裂隙水和块状岩类裂隙水均为潜水,断层脉状水

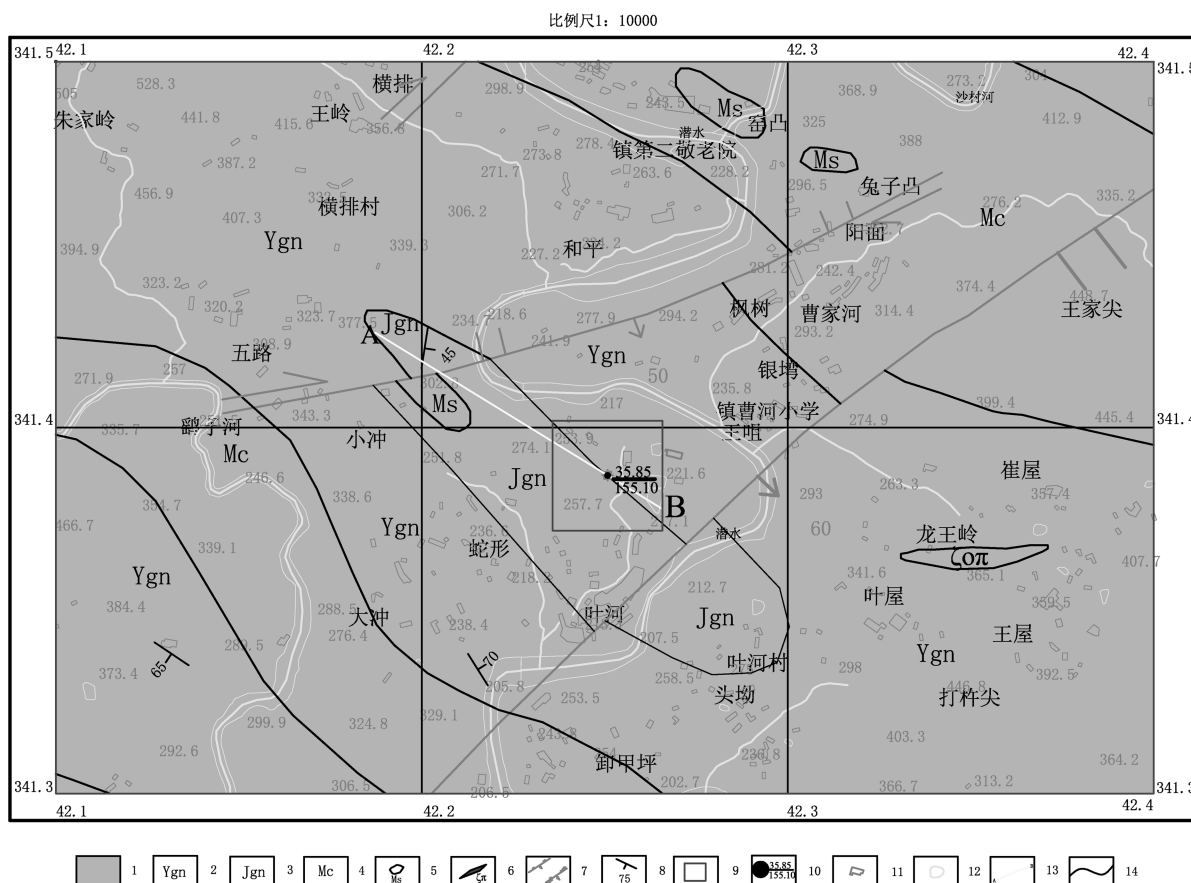


图 1 水文地质图

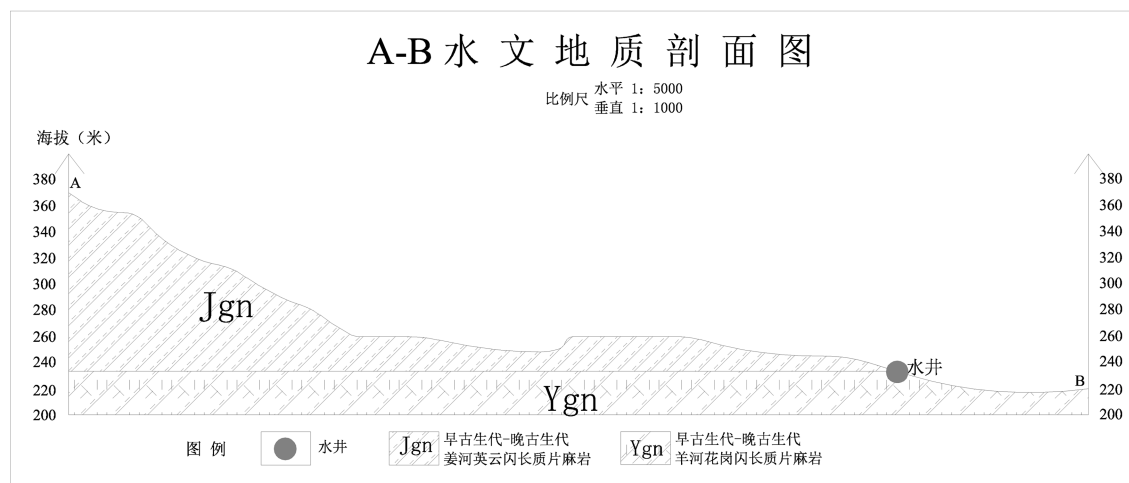


图 2 水文剖面图

为承压水。风化壳网状裂隙水存于变质岩类斜长片麻岩等岩层中,全风化层厚 3 ~ 10m, 泉流量 0.1 ~ 1.0 L/s, 水质 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$ 或 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型, 矿化度 40 ~ 210mg/L。块状岩类裂隙水赋存于花岗岩等中, 强风化带厚 3 ~ 12m, 泉流量同前者, 水质 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$ 型, 矿化度 90 ~ 300mg/L。断层脉状水沿北东向断层发育, 地下水常成群出露成泉, 流量 0.1 ~ 1.27 L/s, 动态稳定为降水蒸发型, 水质为 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型。

2.2 岩层的渗透性分析

在 A 地, 受地质构造和地貌条件影响, 地下水主要赋存于松散岩类孔隙含水岩组和基岩裂隙含水岩组。为评估黑云斜长片麻岩的渗透性, 进行双环渗透实验^[3]。

实验结果显示, 该区片麻岩风化层的渗透系数为 3.7152m/d, 属于中等透水层, 透水性较好, 能有效传导和储存地下水。这一发现为深入了解 A 地地下水的运移和矿泉水的赋存提供了重要依据, 有助于进一步探索和利用该地区的地下水资源。

2.3 地下水补、径、排条件

2.3.1 补给来源与方式

在 A 地, 地下水的补给主要来源于大气降水。工作区属于中低山区, 地形复杂, 基岩裂隙水通过岩石裂隙接受大气降水的垂直入渗补给。

此外, 山间河谷区的孔隙水也接收大气降水的补给, 同时山区地下水的径流也是其重要的补给来源。在枯水期, 地下水与地表水之间存在互补关系, 地下水会补给地表水; 而在汛期, 地表水则会补给地下水。

2.3.2 径流特征与路径

地下水径流受地形地貌条件的显著影响^[4]。在 A 地, 地形以中低山为主, 地势西北高、东南低, 地下水总体上由中低山向山前地带径流。水力坡度与地形坡度和坡向基本一致, 使得地下水能够顺畅地沿地形坡向流动。基岩裂隙水在岩石裂隙中径流, 而山间河谷区的孔隙水则在地表以下一定深度的砂砾石层或碎石土层中径流。

2.3.3 排泄方式与途径

地下水的排泄方式多种多样。在 A 地, 基岩裂隙水多以泉的形式排泄到地表, 或者通过地下径流就近排泄到溪沟及河流内。山间河谷区的孔隙水则主要通过向河流排泄和蒸发排泄两种方式排泄。此外, 随着人类活动的增加, 人工开采也成为地下水排泄的重要途径之一。在枯水期, 由于地表水流量减少, 地下水排泄到河流的比例会相应增加; 而在汛期, 地表水充沛, 地下水则更多地通过蒸发和人工开采进行排泄。

2.4 典型钻孔特征分析

A 地存在一口总深度为 155.10m 的供水井,

该供水井的钻孔(编号 ZK1)具有特定的参数,包括半径 0.0825m、静水位埋深 18.8m、降深 7.8m、涌水量 204.0m³/d、单位涌水量 0.30L/s·m 以及含水层(段)的渗透系数 0.028m/d。通过钻探和测试,发现该钻孔在孔深 0.00~4.80m 为第四系坡洪积层,不含水;孔深 4.8~34.00m 为强~中等风化黑云斜长片麻岩,同样不含水。而在孔深 34.00~155.10m 的黑云斜长片麻岩中,裂隙发育,岩石较完整,存在多个破碎带,为主要含水段。该水井水文地质综合图表如图 3 所示。

进一步分析显示,该钻孔的主要含水层位于黑云斜长片麻岩的破碎带区域,具体为孔深 63.50~68.10m、82.20~85.10m、110.30~115.00m、131.70~138.50m 的区间内。这些破碎带为地下水的赋存和运移提供了有利条件,使得该区域成为矿泉水形成和赋存的重要场所。

3 矿泉水赋存条件研究

3.1 矿泉水形成机制

在 A 地,矿泉水的形成是一个复杂而精妙的地质水文过程,深受该地区独特的水文地质条件影响。这些条件跨越了从太古界至新生界的地层结构,为矿泉水的赋存与形成提供了得天独厚的环境,具体分析如下。

3.1.1 地层与岩石类型的影响

A 地的地层结构复杂多样,特别是中生界侏罗系毛坦厂组的裂隙发育,为地下水的运移和储存提供了良好的通道。上元古界震旦系佛子岭岩群和下元古界宿松岩群回龙山岩组,以其多样的岩石类型(如簿层长石石英岩、橄榄白云大理岩、黑云斜长片麻岩等)及其裂隙和空隙,进一步增强了地下水的储存和运移能力。这些岩石

水井水文地质综合图表

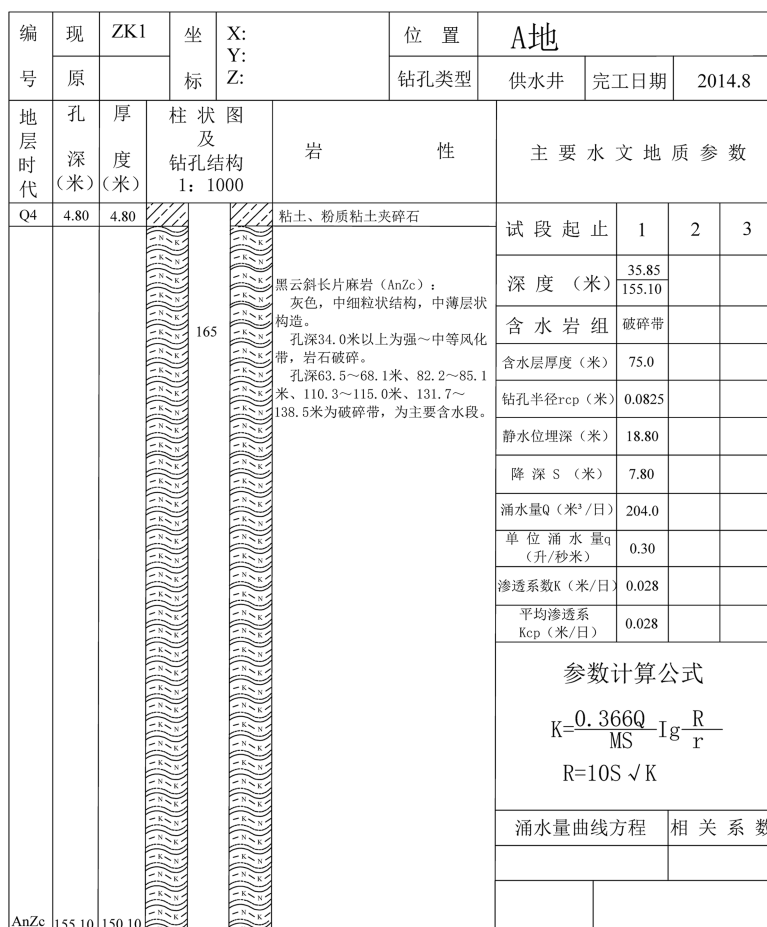


图 3 水井水文地质综合图表

中的裂隙和空隙不仅作为地下水的储存空间,还促进了水与岩石之间的相互作用,为矿泉水中矿物质的溶解和富集提供了条件。

3.1.2 构造与地下水循环

A 地位于多期构造旋回形成的复合造山带。这种复杂的构造背景导致了该地区变质岩层和构造混杂岩带的广泛发育。这些构造特征不仅影响了地下水的赋存条件,还通过控制地下水的循环路径,影响了矿泉水的形成过程。地下水主要接受大气降水的垂直入渗补给,随后通过山间河谷区的孔隙水和基岩裂隙水,沿着由地形地貌条件决定的径流路径流动。在地势西北高、东南低的条件下,地下水最终以泉的形式排泄到地表或就近排入溪沟及河流中。

3.1.3 水化学成分的来源与富集

A 地矿泉水的化学成分复杂多样,其形成过程涉及了多种矿物和岩石的溶解与反应。阳离子 Ca^{2+} 、 Na^{+} 和 Mg^{2+} 主要来源于大理岩类地层中的碳酸盐(如 CaCO_3 、 Na_2CO_3 、 MgCO_3 等)、硫酸盐(如 CaSO_4 、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 等)等矿物盐类的溶解。这些矿物在地下水长期循环过程中,通过水岩相互作用逐渐溶解,释放出离子进入地下水中。

阴离子 HCO_3^- 主要源于碳酸盐的溶解,即 $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ 。而 NO_3^- 可能来源于有机质的分解,即 CH_2O (代表有机质) $+ 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_3^-$, SO_4^{2-} 则可能来源于石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的溶解,即 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

此外,矿泉水中还富含锂(Li)、锶(Sr)、锌(Zn)和硒(Se)等多种对人体有益的微量元素。这些元素的富集可能与片麻岩类地层中的特定矿物有关,如锂云母、磷灰石和闪锌矿等。这些微量矿物在地下水循环过程中逐渐溶解,释放出微量元素进入地下水中,使得矿泉水具有独特的矿物质组成。

3.1.4 游离二氧化碳与溶解性总固体的贡献

本矿泉水中含有丰富的游离二氧化碳

(CO_2),实测 pH 值为 7.2(偏酸性),这可能与地层中的碳酸盐矿物反应相关。碳酸盐矿物在地下水中的溶解不仅释放出了 HCO_3^- 离子,还可能伴随着 CO_2 的释放,从而增加了矿泉水中的游离 CO_2 含量。同时,矿泉水中还含有一定量的溶解性总固体,这些固体物质可能来源于地层中的多种矿物和岩石的溶解与沉淀过程。它们不仅反映了地层溶解和地下水长期循环的影响,还为矿泉水提供了独特的口感和品质。

综上所述,A 地矿泉水的形成是一个涉及地层结构、岩石类型、构造背景、地下水循环以及水化学成分复杂相互作用的结果。这些条件共同作用,使得 A 地的矿泉水具有独特的矿物质组成和优良的品质,成为了一种珍贵的自然资源。

3.2 矿泉水水质评价

水质检测依据国家《食品安全国家标准饮用天然矿泉水》(GB 8537 - 2018)标准进行^[5],确保数据的准确性和可比性。通过对钻孔水样的采集,系统全面检测了四十多个项目,包括但不限于水化学全分析、微量元素分析、污染物分析、微生物分析及放射性分析等,具体分析如下所示。

3.2.1 界限指标与限量指标分析

界限指标是判断矿泉水类型的主要依据,限量指标则是确保矿泉水安全性的关键参数^[6]。表 1 和表 2 是对 A 地矿泉水界限指标与限量指标的详细分析。

3.2.2 污染物指标与微生物要求

污染物指标和微生物要求是确保矿泉水安全性的关键保障^[7]。表 3 是对 A 地矿泉水污染物指标的详细分析。

此外,根据国家《饮用天然矿泉水》(GB 8537 - 2008)标准,矿泉水中的菌落总数和大肠菌群等指标需达标微生物要求。本次检测中,虽未列出具体的数值,但经检测确认,矿泉水中的菌落总数和大肠菌群等指标均符合标准规定。

根据上述分析结果,可知 A 地在界限指标、限量指标、污染物指标及微生物要求等方面均表

表 1 界限指标分析

项目	要求 (mg/L)	检测结果 (mg/L)	评价结果
锂 (Li)	≥0.20	4.18	达标
锶 (Sr)	≥0.20	126	达标
锌 (Zn)	≥0.20	0.2	达标
偏硅酸 (H ₂ SiO ₃)	≥25.0	52.3	达标
硒 (Se)	≥0.01	0.05	达标
游离二氧化碳 (CO ₂)	≥250	4.4	不达标
溶解性总固体 (TDS)	≥1000	252	不达标

表 2 限量指标分析

项目	要求 (mg/L)	检测结果 (mg/L)	评价结果
硒 (Se)	<0.05	0.05	达标
锑 (Sb)	<0.005	0.005	达标
砷 (As)	<0.01	0.01	达标
铜 (Cu)	<1.0	0.08	达标
钡 (Ba)	<0.7	35	不达标
镉 (Cd)	<0.003	0.05	达标
铬 (Cr)	<0.05	4.33	不达标
铅 (Pb)	<0.01	0.01	达标
汞 (Hg)	<0.001	0.04	达标
锰 (Mn)	<0.4	0.5	不达标
镍 (Ni)	<0.02	2.44	不达标
银 (Ag)	<0.05	0.01	达标
硝酸盐 (NO ₃ ⁻)	<45	10.3	达标
氟化物 (F ⁻)	<1.5	0.24	达标

表 3 污染物指标分析

项目	要求 (mg/L)	检测结果 (mg/L)	评价结果
挥发酚 (以苯酚计)	<0.002	0.0005	符合
氰化物 (以 CN ⁻ 计)	<0.010	0.001	符合
阴离子合成洗涤剂	<0.3	0.04	符合
矿物油	<0.05	/	符合
亚硝酸盐 (以 NO ₂ ⁻ 计)	<0.1	0.0010	符合
总 β 放射性	<1.50	/	符合

现出良好的水质特征,符合国家饮用天然矿泉水的标准。

3.3 矿泉水允许开采量评估

在 A 地饮用天然矿泉水资源的勘察中,采用单井稳定流抽水试验方法评估允许开采量。

该方法通过直接测量特定水文地质条件下的地下水流动特性,从而科学估算可持续开采的水量^[8]。

在本次试验中,选择了具有代表性的供水井(钻孔 ZK1)作为试验对象。在抽水试验前,进

行了彻底的洗井作业,以此提高测试的准确性。原计划进行 48h 的抽水试验,用于观测水位与流量的稳定性。然而,鉴于仅 48h 的抽水试验虽能用于测试分析评价,但对于更精准地说明可开采资源量和允许开采量而言,时长略显不足。

因此,为了更全面、可靠地评估矿泉水的允许开采量,将抽水试验时间延长至 7d 以上。在此期间,持续、详细地记录涌水量、水位变化及渗透系数等关键参数。最终,在稳定状态下测得日涌水量为 $2.04 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{d}$,单位涌水量为 $3.0 \times 10^{-1} \text{ L/s} \cdot \text{m}$,渗透系数均值为 $2.8 \times 10^{-2} \text{ m/d}$ 。通过延长抽水试验时间,获取到的数据更加充分,更准确地反映该地区矿泉水的开采潜力和可持续性,为后续的合理开发利用提供了更为坚实的数据支撑。

3.4 矿泉水赋存控制因素

地层与构造是控制矿泉水赋存的重要因素^[9]。A 地地层从太古界到新生界齐全,为矿泉水提供了丰富的矿物质来源和多样的赋存空间。特别是中生界侏罗系及上元古界震旦系、下元古界宿松岩群等地层的裂隙发育,为地下水的储存和运移提供了有利条件。同时,A 地岩浆活动频繁,岩浆岩占基岩面积比例大,且多为片麻状岩石,其强变形带及裂隙、节理发育,进一步增加了地下水的赋存空间。这些地层和构造特征共同决定了矿泉水的赋存位置和分布规律。

水文地质条件对矿泉水的赋存同样具有重要影响^[10-17]。A 地地形复杂,地势西北高、东南低,有利于地下水的补给和径流。气象条件方面,亚热带季风气候区年降水量丰富,且主要集中在夏季,为地下水提供了充足的补给来源。水文条件方面,区域内河流纵横,沟壑纵横,地表水系发达,为地下水的排泄提供了良好通道。此外,地下水的类型、分布和渗透性也直接影响着矿泉水的赋存状态。在 A 地,松散岩类孔隙含水岩组和基岩裂隙含水岩组的分布和特性,以及岩层的渗透性,共同决定了矿泉水的赋存条件和开采潜力。

4 结语

本研究通过对 A 地饮用天然矿泉水资源的勘察实践,深入探讨了水文地质条件对矿泉水赋存的控制作用。结果表明,地层、构造和水文地质条件共同决定了矿泉水的赋存状态与水质特征。合理确定矿泉水的允许开采量,对于保障地方经济可持续发展具有重要意义。未来应继续加强水文地质勘察,为矿泉水资源的合理开发与保护提供科学依据。

参考文献(References):

- [1] 李辉,翟星,刘硕,等.冀东都山地区富锶矿泉水的运移与赋存特征分析[J].科学技术与工程,2021,21(02):458-464.
- [2] 张永波,郭亮亮,时红.矿床水文地质学[M].中国水利水电出版社:202001.155.
- [3] 刘咏康.基于双环渗水试验对任丘地区包气带垂直渗透系数的研究[J].陕西水利,2024,93(03):13-15.
- [4] 吴江涛.故乡河流域汛期时段划分研究[J].地下水,2024,46(05):253-254+262.
- [5] «食品安全国家标准饮用天然矿泉水»(GB 8537-2018)«食品安全国家标准包装饮用水生产卫生规范»(GB 19304-2018)发布[J].饮料工业,2018,21(03):1.
- [6] 胡峰,刁玉山,何钟强,等.湟水河流域矿泉水水化学分布特征及界限指标来源分析[J/OL].地质科技通报,1-20[2025-01-02].
- [7] 冯翠萍.«食品安全国家标准包装饮用水»解读[J].大众标准化,2015,34(05):10-13.
- [8] 代策.长白山矿泉水集中区水资源开发利用水平评价和优化配置研究[D].长春:吉林大学,2022.
- [9] 师晓文,罗海东,丁志勇,等.荔枝滩背斜西翼中段荔枝滩理疗热矿泉水地质成因分析[J].地下水,2024,46(04):31-34.
- [10] 王志超,王迪,张兵华,等.内蒙古饮用天然矿泉水地质成因和分布特征浅析[J].西部资源,2023,20(05):17-24.
- [11] 黄健敏,彭玉怀,杨章贤,等.皖江城市带饮用天然矿泉水资源开发利用现状与对策建议[J].华

- 东地质, 2023, 44(04): 448 - 456.
- [12] 朱春芳, 龚建师, 陶小虎, 等. 淮河流域浅层地下水水化学特征 10 年对比分析及其环境变迁意义[J]. 华东地质, 2023, 44(03): 282 - 291.
- [13] 苏春田, 聂发运, 邹胜章, 赵光帅, 罗飞, 黄奇波, 巴俊杰, 李小盼, 梁嘉鹏, 杨杨. 湖南新田富锶地下水水化学特征与成因分析[J]. 现代地质, 2018, 32(03): 554 - 564.
- [14] 廖先远, 胡雨柔. 青海曲海天然饮用富锶型矿泉水形成机制分析[J]. 四川地质学报, 2017, 37(04): 592 - 595.
- [15] 孙厚云, 毛启贵, 卫晓锋, 张会琼, 蕙玉泽. 哈密盆地地下水系统水化学特征及形成演化[J]. 中国地质, 2018, 45(06): 1128 - 1141.
- [16] 牛俊强, 文美霞, 郭昆, 周宁, 叶腾升, 苏呈. 湖北省饮用天然矿泉水成因类型及成矿模式分析[J]. 资源环境与工程, 2019, 33(01): 61 - 65.
- [17] 苏宏建, 杨瑞, 多晓松, 赵婧, 孙志辉, 赵红瑞. 承德市矿泉水资源分布规律及其形成的地球化学条件[J]. 化工矿产地质, 2019, 41(01): 27 - 34.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 何黎明, 1989 年生, 男, 江西赣州人, 安徽省地勘局第一水文工程地质勘查院, 高级工程师, 主要研究方向为水工环地质。Email: 383035324@qq.com

Study on the Controlling Effect of Hydrogeological Conditions on the Occurrence of Mineral Water—Case Study of A Place

HE Liming*, LIU Yalan

(The first Hydrologic Engineering Geological Exploration Institute of Anhui Geological Survey Bureau, Bengbu 233000, China)

Abstract: Based on the exploration practice of drinking natural mineral water resources in place A, this study reveals the hydrogeological process of mineral water formation, its influencing factors and the control effect of hydrogeological conditions on the occurrence of mineral water through the analysis of its geological background and structural conditions, the investigation of hydrogeological conditions and the evaluation of mineral water quality. The investigation results show that the occurrence state and water quality characteristics of mineral water are determined by the specific stratigraphic structure and structural characteristics, groundwater type and recharge and discharge conditions. It also provides important cases and relevant basis for mineral water resources investigation and evaluation in similar areas.

Key words: hydrogeological conditions; mineral water occurs; geological background; water quality evaluation