

问题探讨

寺河矿钻孔出水水化学成分分析及水源判别

马光伟¹,武智勇²,李朝凯³,于飞⁴,孟颖⁴

(1.河北省地矿局第四水文工程地质大队,河北沧州061000;2.河北民族师范学院,河北承德067000;3.承德市国家税务局,河北承德067000;4.承德市自然资源和规划局,河北承德067000)

摘要:为预防寺河矿矿井突水灾害,开展了水文地质特征分析、钻孔出水现场监测和水化学分析。结果表明:SO₄²⁻和Cl⁻含量与TDS呈现正相关,相关系数分别为0.316和0.384;研究区域地下水类型主要为HCO₃⁻Na型,初步判断该钻孔出水水源可能为K₂灰岩水。**关键词:**水化学分析;水源判别;Piper三线图;矿化度

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2019)03-0041-04

Water chemical composition analysis and water source discrimination for drilled water in Sihe Coal MineMA Guang-wei¹, WU Zhi-yong², LI Chao-kai³, YU Fei⁴, MENG Ying⁴

(1. The fourth hydrogeological engineering team of Hebei provincial geological and Mining Bureau, Cangzhou 061009, China; 2. Hebei Normal University for Nationalities, Chengde 067000, China; 3. State Tax Bureau of Chengde, Chengde 067000, China; 4. Chengde Bureau of Natural Resources and Planning, Chengde 067000, China)

Abstract: Water chemical composition analysis and water source discrimination of drilled water were carried out to prevent mine inrush disasters. The results showed that SO₄²⁻ and Cl⁻ concentrations were positively correlated with TDS with correlation coefficients of 0.316 and 0.384, respectively. The main groundwater type in this research area was HCO₃⁻Na and the water source of this drill was preliminarily determined to be K₂ limestone water.**Key words:** Hydrochemical analysis; Water source discrimination; Piper diagram; Salinity

0 引言

矿井突水是煤矿安全生产的主要威胁之一,突水事故发生必然会造成矿工的生命安全和国家财产的极大损失^[1]。在煤矿矿井水的防治中,对突水水源的精确判断显得尤为重要^[2]。

地下水是一种复杂的液体,其中溶有各种不同的元素、化合物和气体,而这些元素有些大量存在于地下水中,而有些则含量极低。地下水含有数十种离子成分,其中主要有钾离子(K⁺)、钠离子(Na⁺)、钙离子(Ca²⁺)、镁离子(Mg²⁺)、硫酸根离子(SO₄²⁻)、氯离子(Cl⁻)和重碳酸氢根离子(HCO₃⁻)七种^[3]。含水层类型的不同会导致地下水化学成分

的不同。此外,地下水和周围的大气圈、水圈以及生物圈接触之后会产生一系列物理化学变化,在这个过程中地下水的化学成分会进一步改变。同时地下水在其赋存和运移中,水化学成分处于一个动态变化的状态。通过对七种主要离子含量进行分析,并结合矿区各含水层地下水水质成分背景资料,即可识别出突水来源^[4-7],为制定合理有效的防治水措施提供依据。

本文对寺河矿某钻孔出水进行水文地球化学成分分析,依据出水过程中水化学组分的变化特征,并结合研究区域水文地质条件和构造条件,探讨了水化学组分的变化原因,并确定了可能出水含水层。

收稿日期:2018-12-30

第一作者简介:马光伟(1987-),男,河北承德人,工程师。E-mail: 824557762@qq.com

通讯作者:武智勇,男,河北承德人,讲师。E-mail: wzy6000@sina.com

引用格式:马光伟,武智勇,李朝凯,等.寺河矿钻孔出水水化学成分分析及水源判别[J].能源环境保护,2019,33(3):41-44.

1 矿区水文地质特征

依据岩性及空间赋存特征,寺河矿区的含水层自上而下依次分为:第四系松散层孔隙含水层、基岩风化带裂隙含水层组、二叠系石盒子组碎屑岩类裂隙含水层组、二叠系下统山西组碎屑岩类裂隙含水层组、石炭系上统太原组碎屑岩、碳酸盐岩类裂隙岩溶含水层组以及奥陶系中统下马家沟和峰峰组碳酸盐岩类岩溶裂隙含水层。

该矿区主采煤层为山西组 3 号煤层,该煤层主要突水水源是二叠系砂岩含水层(厚度在 0-20 m 之间),现场进行的抽水试验该含水层水质类型为 $\text{HCO}_3^- \text{K}+\text{Na}^+$ 型。太原组煤层的组要突水水源是太原组砂岩裂隙水和 K_2-K_5 灰岩岩溶水,奥陶系峰峰组和中统下马家沟组岩层富水性较强。

2 出水动态监测及分析

在钻孔的钻进过程中出现井内泥浆漏失,此时现场施工人员开始关闭防喷器,在关闭过程中,大约 3 min 井内发生井喷。本次实验所用水样就是在井喷的出水口位置,用一旁通管与钻孔连接,在旁通管处取水样。

待水量稳定后,进行水样的采集,每隔 12 h 采集一次,共采集 27 次,直至出水现象消失。现场采样时同时监测并记录水的 pH 值、水温和电导率等数据。

水样采集完毕之后及时送至实验室进行检测,水样的运输时间不得超过 24 h。实验室测试主要检测水样的标型组分、水质综合指标(如硬度、总矿化度、TDS)及悬浮物等。

3 分析和讨论

3.1 常规离子含量与 TDS 的关系

溶解于水中固相物质的总量称为总溶解固体,常记为 TDS,它是常规离子 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 在水中积累的综合反映。其计算方法是:溶解组分(溶解气体除外)总和减去 1/2 的 HCO_3^- 。

TDS 能较好地反映地下水中物质组分在总体上的分布特征及变化规律,主要阴离子 SO_4^{2-} 、 Cl^- 与 TDS 含量的关系如图 1 和 2 所示。

SO_4^{2-} 和 Cl^- 在 TDS 中所占比例由 0.452 % 递增至 10.179 %, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 由 0.791 % 递增至 2.461 %。由图 1 可知,对 SO_4^{2-} 浓度与 TDS 浓度的散点图进行线性拟合,可以看出二者具有一定的线性关系, SO_4^{2-} 含量随着 TDS 的增大而增大,其

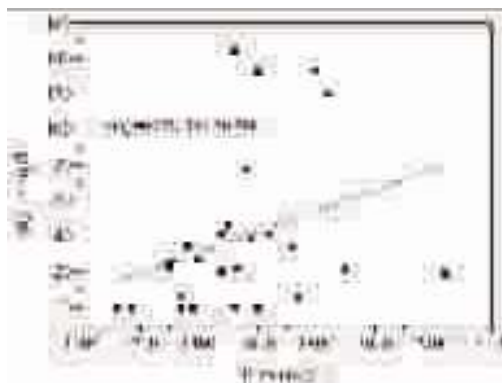


图 1 SO_4^{2-} 与 TDS 的相关关系

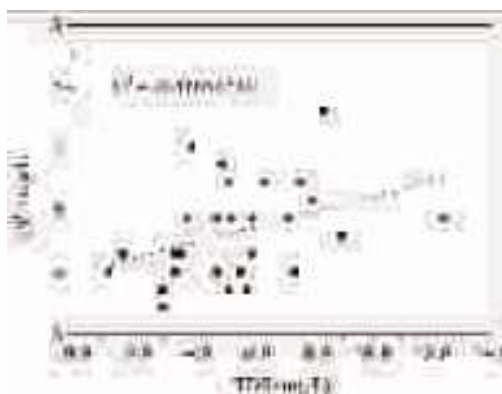


图 2 Cl^- 与 TDS 的相关关系

相关系数为 0.316,说明尽管 SO_4^{2-} 与 TDS 具有一定的相关性,但是相关系数很低。同样从图 2 可以看出, Cl^- 含量与 TDS 具有较低的相关性,相关系数只有 0.384。由此可知, SO_4^{2-} 和 Cl^- 均不是 TDS 增大的主要特征阴离子,而可以作为 TDS 增大的参考阴离子。

3.2 水样化学组分的动态特征

为了分析钻孔出水 324 h 之内主要的阳离子 (K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 浓度和和主要阴离子 (SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^-) 浓度的变化特征,绘制出了出水水样的离子浓度动态变化曲线,见图 3~6。

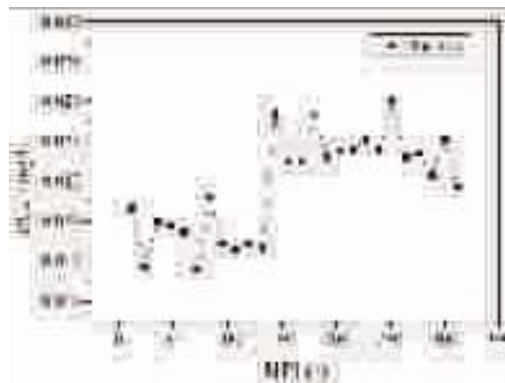


图 3 钙离子和镁离子的动态曲线

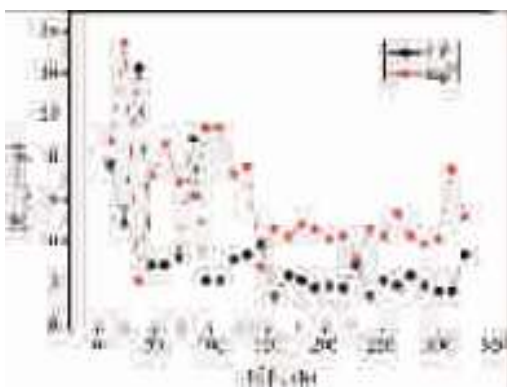


图4 钙离子和镁离子的动态曲线

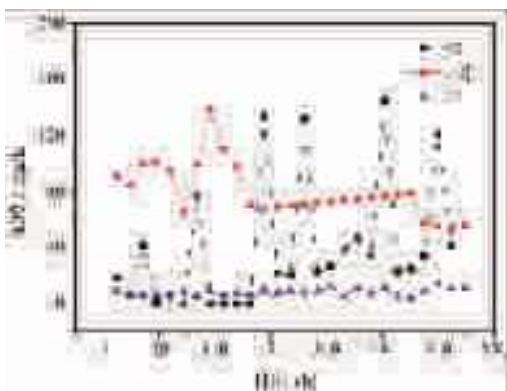


图5 碳酸根、硫酸根离子和氯离子的动态曲线

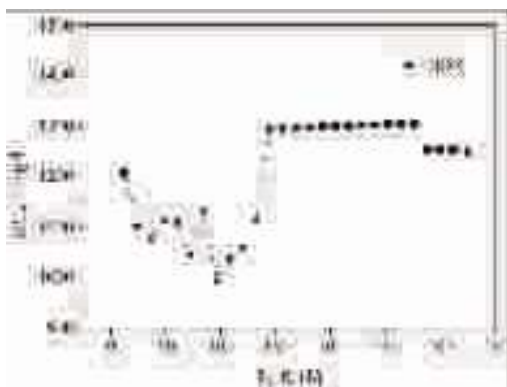


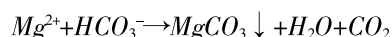
图6 重碳酸根离子动态曲线

对图3~6进行分析,所取水样的主要水化学特征如下:

(1) 阳离子中 K^+Na^+ 浓度比较稳定,在 $0.018\sim 0.021$ mol/L 范围内波动。出水 144 h 之内, K^+Na^+ 浓度稳定在 0.212 mol/L 左右,从出水 144 h 之后, K^+Na^+ 浓度突然增大,之后大部分水样浓度稳定在 0.237 mol/L 左右。地下水中 $Na^+(K^+)$ 主要来源于沉积岩中岩盐、其它钠(钾)盐的溶解以及含钠(钾)矿物的风化溶解, K^+Na^+ 浓度增大可能是因为含钠(钾)矿物,如钠(钾)长石,风化溶解能力增强了。此外, Ca^{2+} 的吸附能力大于 K^+ 和 Na^+ ,含有 Ca^{2+} 的地下水接触到主要含有 K^+Na^+ 的矿

物,发生的阳离子交替吸附作用也是 K^+Na^+ 浓度增大的原因。

(2) 阳离子中 Mg^{2+} 浓度在出水 144 h 之内波动较大,之后趋于稳定,大致稳定在 18.695 mg/L 左右。总体变化范围在 $7.032\sim 33.672$ mg/L 之间,动态曲线有下降的趋势。地下水中的 Mg^{2+} 主要来源于含镁的碳酸盐类沉积以及含镁矿物的风化溶解,水样中 Mg^{2+} 浓度的减少可能是因为 HCO_3^- 含量增加,发生了脱碳酸作用,从而使得 Mg^{2+} 以 $MgCO_3$ 沉淀的形式从水中析出,反应式如下:

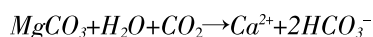
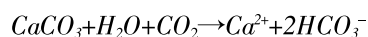


(3) 阳离子中 Ca^{2+} 浓度在钻孔出水 144 h 之内波动比较大,之后相对稳定在 5.376 mg/L 左右,动态曲线有下降的趋势,整体变化范围在 $3.679\sim 30.661$ mg/L 之间。 Ca^{2+} 浓度减少的主要原因可能是发生了阳离子交替吸附作用或脱碳酸作用,从而使地下水中一部分 Ca^{2+} 以 $CaCO_3$ 沉淀的形式析出。

(4) 阴离子中 Cl^- 浓度较小,从整体来看 Cl^- 浓度变化幅度很小,基本稳定在 7.977 mg/L, Cl^- 含量较低是因为它很难参与化学反应, Cl^- 易于由岩层进入地下水中,成为地下水主要化学组分,随着溶滤作用的进行,氯化物由于地下水循环被水流带走而贫化。

(5) 阴离子中 CO_3^{2-} 浓度变化范围相对较大,在 $54.540\sim 138.690$ mg/L 范围内波动;阴离子中 SO_4^{2-} 浓度变化幅度很大,分布于 $0\sim 144.345$ mg/L 之间,部分水样中甚至检测不到 SO_4^{2-} 。

(6) 出水水样中 HCO_3^- 含量最大,离子浓度主要集中在 $993.420\sim 1305.920$ mg/L 范围内波动,从钻孔出水 144 h 开始,水样浓度几乎稳定在 1288.001 mg/L 左右,且 HCO_3^- 离子浓度有增加的趋势。矿井水水中 HCO_3^- 离子主要来自碳酸盐岩,反应公式为:



水中 HCO_3^- 的含量一定程度上取决于其与 CO_2 含量的平衡关系,钻孔出水 144 h 后 HCO_3^- 含量突然增加的原因可能是矿井水中 CO_2 含量增多。

综上所述, K^+Na^+ 浓度增加可能是发生了阳离子交替吸附作用; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度增加是因为均发生了脱碳酸作用;水样中 Cl^- 浓度较低是因为地下水发生了溶滤作用;水样中 HCO_3^- 浓度较高是

因为地下水含有较多的 CO_2 促进了碳酸盐岩的溶解。根据以上分析可知,该钻孔出水水样的水质相对复杂,水质类型主要是 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 水。

3.3 利用三线图分析水质类型

利用 GW 软件对水样进行分析,并且绘制出能够直观的表达出水水质类型的 Piper 三线图,见图7。

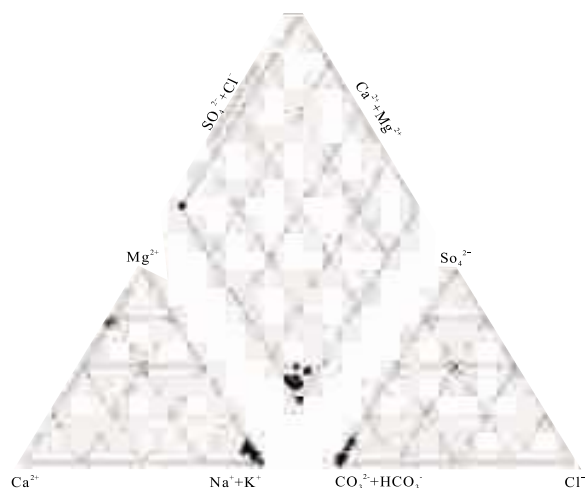
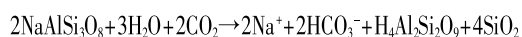


图7 含水层水质 Piper 三线图

由图7可知水样点位于菱形图中正下方,表明 K^+ 和 Na^+ 的含量大于 50% 或者 HCO_3^- 的含量大于 50%;在左三角中,此处 K^+ 和 Na^+ 的含量较大, Ca^{2+} 的含量较小;在右三角中,利用同样的方法知 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 的含量较大,而 Cl^- 的含量比较小。又因为地下水中 K^+ 的含量很少,所以,钻孔中所取水样的水化学类型为 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 型。 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 类型的水形成原因是该矿区地层中钠长石和钾长石含量较高,在风化作用、水解作用及离子交换作用等作用下,长石中 Na^+ 和 K^+ 被溶滤到水中,而 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子形成 CaCO_3 、 MgCO_3 沉淀从水中析出,使砂岩水 K^+ 、 Na^+ 含量占有绝对优势, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量很低。化学反应过程可表示为:



上述反应使砂岩中的钠长石被溶解到水中, Na^+ 含量升高,从而水质类型为 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 型。

3.4 出水水源判别

根据上节对水样中常规离子的分析以及研究区域含水层和隔水层的认识,本次钻孔突水的水源可能是砂岩水或者奥陶系灰岩水。

受含水介质及其赋存与分布的影响,奥灰水化学组分主要特征表现为:离子组成以 SO_4^{2-} 和 Cl^- 、 HCO_3^- 及 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,其中 SO_4^{2-} 和 Cl^-

绝对含量大,与 TDS 呈正线性相关,而且相关性良好,对水质类型起到主导作用^[8]。由图3-图6分析可知,所有水样中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 和 HCO_3^- 的绝对含量比较大。另外,尽管 SO_4^{2-} 和 Cl^- 与 TDS 呈正线性相关,但相关系数却很低,这和前人的研究相矛盾,因此该出水水源是奥陶系灰岩水的可能性较小。

研究区域位于山西省沁水县嘉峰镇,该镇位于延河泉以北,该区域水文地质单元属于延河泉域,其灰岩水的化学特征遵从延河泉岩溶水的化学特征^[9]。而由分析可知,水样中 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量与文献中相差较大,这进一步证明了该出水水源并不是奥陶系灰岩水。

太原组 K_2 灰岩顶板是砂岩,它们之间存在紧密的水力联系。研究区域的砂岩几乎不含水,这说明砂岩裂隙水在地下水循环过程中进入了 K_2 灰岩,这导致了 K_2 灰岩水和砂岩裂隙水的水化学特征相似。因此结合矿山的水文地质特征以及水样的水质类型,可判断该出水水源是 K_2 灰岩水。

4 结论

本文对寺河矿钻孔出水情况进行了实时监测,并进行了水化学成分分析,认为水样中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 浓度增加可能是发生了阳离子交替吸附作用; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度增加是因为发生了脱碳酸作用; Cl^- 浓度较低是因为地下水发生了溶滤作用;水样中 HCO_3^- 浓度较高是因为地下水含有较多的 CO_2 促进了碳酸盐岩的溶解。该水样的水质类型主要是 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 水,出水水源可能为 K_2 灰岩水。

参考文献

- [1] 吴桂武,高建平,李玉刚,等.黔东地区煤矿突水原因分析[J].煤矿安全,2015,46(2):172-174.
- [2] 聂荣花.基于 GIS 的矿井突水水源识别算法研究[D].西安科技大学,2011.
- [3] 张永东,钱一雄,王恕一.石英在碱性成岩环境中的溶蚀作用规律探讨及实验模拟[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45:1-5.
- [4] 张乐中,曹海东.利用水化学特征识别桑树坪煤矿突水水源[J].煤田地质与勘探,2013,41(4):42-45.
- [5] 黄平华,陈建生,宁超,等.焦作矿区地下水水化学特征及其地球化学模拟[J].现代地质,2010,24(2):369-376.
- [6] 邢世平,胡友彪,吴亚萍,等.丰予井田地下水水化学特征分析及意义[J].煤田地质与勘探,2017,45(4):85-93.
- [7] 宋淑光,孟辉,张牧,等.水质特征模型在下组煤首采面突水水源判别中的应用[J].煤矿安全,2012,43(6):122-124.
- [8] 吕广罗,蔡德嵩,陈玲芬,等.韩城矿区奥灰水化学特征及形成机制探讨[J].中国煤田地质,2003,15(4):27-30.
- [9] 黄平华,陈建生.焦作矿区地下水水化学特征及涌水水源判别的 FDA 模型[J].煤田地质与勘探,2011,39(2):42-51.