



移动扫码阅读

贺世芳,陈永春,谢毫,等.潘谢矿区灰岩地下水水化学特征与成因分析[J].能源环境保护,2020,34(1):37-43.

HE Shifang, CHEN Yongchun, XIE Hao, et al. Water chemistry characteristics and their causes of limestone groundwater in Panxie Mining Area[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(1): 37-43.

潘谢矿区灰岩地下水水化学特征与成因分析

贺世芳¹, 陈永春¹, 谢毫¹, 安艳晴², 姜春露², 郑刘根²

(1. 平安煤炭开采工程技术研究院有限责任公司, 安徽 淮南 232001;

2. 安徽大学 资源与环境工程学院, 安徽省矿山生态修复工程实验室, 安徽 合肥 230601)

摘要:灰岩水是潘谢矿区的主要充水水源,对煤田的开采具有潜在的水害威胁。本文采用 Piper 三线图、饱和指数及离子比例系数分析了灰岩水水化学特征。结果表明:潘谢矿区灰岩水为弱碱性水,阳离子以 Na^+ 离子为主,太灰水水化学类型以 $\text{Cl}-\text{Na}$ 为主,奥灰水水化学类型多为 $\text{Cl}-\text{Na}$ 和 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3-\text{Na}$;岩盐溶解是潘谢矿区灰岩水形成 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型水质的主要原因,奥灰水 HCO_3^- 来源于方解石和白云石, Na^+ 因交替吸附作用而成为主要阳离子。

关键词:潘谢矿区;灰岩水;水化学特征;Piper 三线图;饱和指数;离子比例系数

中图分类号:X143

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)01-0037-07

Water chemistry characteristics and their causes of limestone groundwater in Panxie Mining Area

HE Shifang¹, CHEN Yongchun¹, XIE Hao¹, AN Yanqing², JIANG Chunlu², ZHENG Liugen²

(1. Ping An Mining Engineering Technology Research Institute Co., Ltd., Huainan 232001, China;

2. School of Resource and Environmental Engineering, Anhui Province Engineering Laboratory for Mine Ecological Remediation, Anhui University, Hefei 230601, China.)

Abstract: Limestone water is the main water-filling source of PanXie mining area, and has potential water hazard threat to coal mining activities. The water chemistry characteristics and formation factors of limestone water were discussed using piper three-line diagram, saturation index and ion scale coefficient. The results showed that: (1) limestone water was weak alkaline and the main cation was Na^+ ions. The chemical type of the Carboniferous Taiyuan Formation limestone water is mainly $\text{Cl}-\text{Na}$, and the chemical types of the water of the Ordovician limestone water are mostly $\text{Cl}-\text{Na}$ and $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3-\text{Na}$. (2) The dissolution of rock salt is the main reason for the limestone water $\text{Cl}-\text{Na}$ type water in the study area. The HCO_3^- ions in the Ordovician limestone water are derived from calcite and dolomite. However, due to the alternating adsorption of cations, the cation content is still dominated by Na^+ ions.

Key Words: Panxie mining area; Limestone Water; Water chemistry characteristics; Piper three-line diagram; Saturation Index; Ion scale coefficient

0 引言

地下水化学成分的形成与其经历的地球化学演化规律和循环过程密切相关,因此地下水水化学的变化可以指示其地球化学过程^[1]。矿区地下

水化学组分的形成演化是受水动力条件、含水层介质特性以及人类活动等多因素影响的复杂过程^[2],许多学者对揭示水化学特征的影响因子、水岩相互作用及识别水化学演化的主要水文地球化学作用等已经进行了相关研究。王剑^[3]等采用水

由于水质分析以及矿物平衡常数和离子活度计算中的误差,使矿物饱和指数的计算结果不可避免地带有不确定性,因此一般认为,当 SI 在接近 0 的一定范围内变化是都认为水溶液与矿物处于平衡状态,常用的 SI 变化范围为 $0 \pm 0.5^{[12]}$ 。

2 结果与讨论

2.1 水化学特征

对 66 个太灰水,28 个奥灰水水样进行统计,得出各含水层样水化学指标,见表 1。可以看出,研究区太灰水 pH 值变化范围为 7.68~13.17,平均值为 8.38,奥灰水 pH 值变化范围为 7.52~9.82,平均值为 8.61,均为弱碱性水。太灰水和奥灰水阴阳离子质

量浓度呈现相同的趋势,表现为阳离子中, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 质量浓度远大于 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,阴离子质量浓度大小依次为 $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。利用常规离子绘制 Piper 三线图(图 2)可以看出,太灰水和奥灰水相同的是阳离子均集中在左边三角形的右下角,均是以 Na^+ 为主,区别在于阴离子的分布。太灰水 Cl^- 占阴离子的 50% 以上,个别水样 SO_4^{2-} 占 25% 以上, HCO_3^- 全部低于 25%,表明太灰水水化学类型以 $\text{Cl}-\text{Na}$ 为主,个别存在 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$ 。奥灰水阴离子相对太灰水较分散, Cl^- 和 HCO_3^- 占比分别在 10%~95% 和 10%~75%,表明阴离子以 Cl^- 为主, HCO_3^- 次之,水化学类型多为 $\text{Cl}-\text{Na}$ 和 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3-\text{Na}$ 。

表 1 灰岩含水层水化学指标统计

mg/L, pH 无量纲

水样类型	统计值	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	TDS	pH
太灰水	平均值	53.54	22.06	839.53	334.73	963.83	295.35	2 348.52	8.38
	最大值	436.47	55.91	1 128.57	883.26	1 407.12	832.67	2 991.93	13.17
	最小值	2.00	0	417.27	0	45.09	11.32	1 140.72	7.68
奥灰水	平均值	27.21	12.58	861.56	549.10	850.80	220.25	2 247.34	8.61
	最大值	89.64	33.88	1 329.54	1 470.58	1 395.34	576.36	3 007.31	9.82
	最小值	1.94	0.50	160.47	118.99	62.39	15.37	381.11	7.52

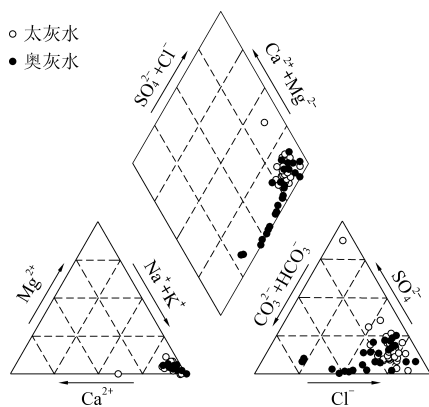


图 2 灰岩水 Piper 三线图

2.2 离子浓度与 TDS 的关系

研究区灰岩水 TDS 值与常规阳离子的浓度关

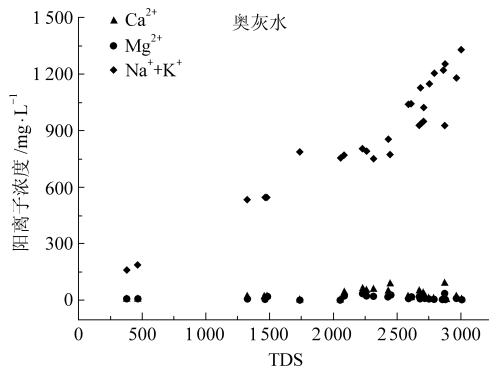
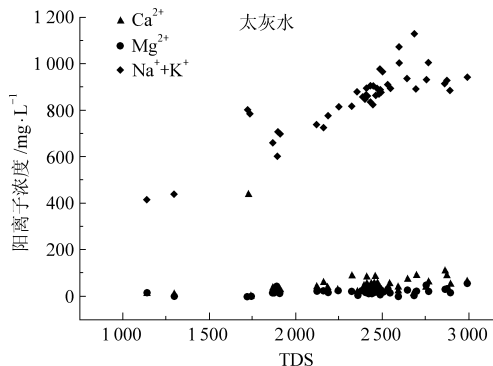


图 3 阳离子浓度与 TDS 关系

系图(图 3)可以看出, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子浓度与 TDS 呈现良好的线性关系,随着 TDS 的增加而增加。 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 的增幅远大于 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,表明 TDS 增加的贡献率主要来自 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$,灰岩地下水的水岩相互作用是以含 Na^+ 离子的矿物溶解为主。TDS 与灰岩水阴离子的浓度关系图(图 4)相关性较弱,随着 TDS 的增加,灰岩水中 Cl^- 浓度整体呈现增加的趋势, HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 浓度与 TDS 变化无明显的相关性。表明灰岩水的水岩相互作用是以 Cl^- 离子的矿物溶解为主。可以初步推测,研究区灰岩水的水岩相互作用是以含 Na^+ 和 Cl^- 离子的矿物溶解为主,即岩盐的溶解。

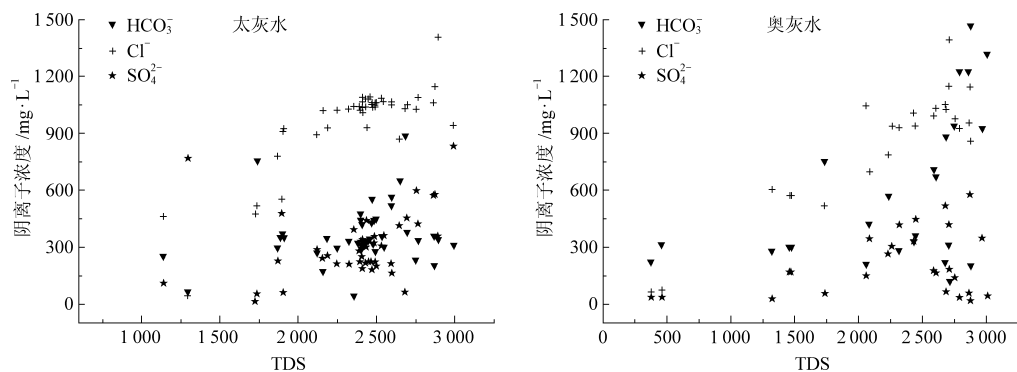
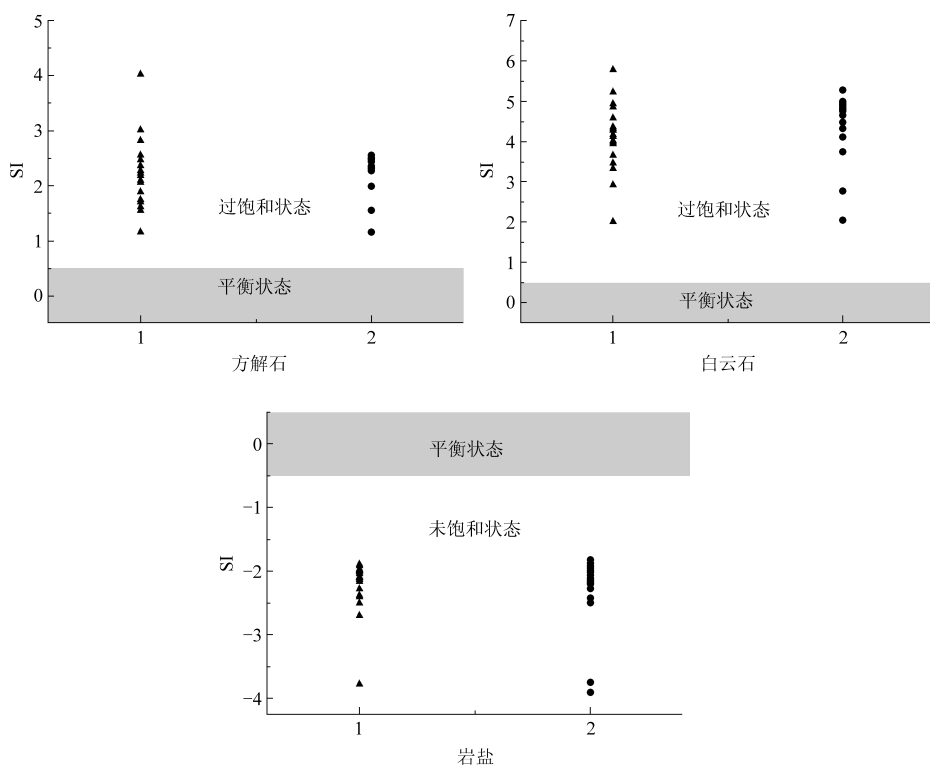


图4 阴离子浓度与TDS关系

2.3 离子浓度与饱和指数的关系

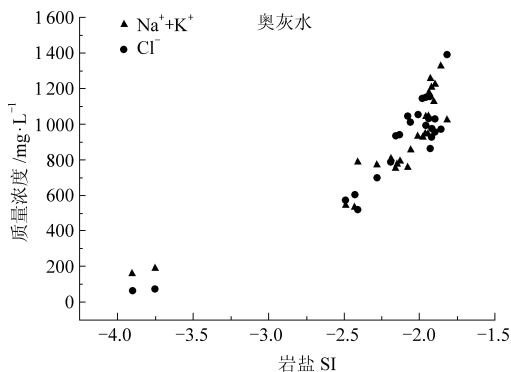
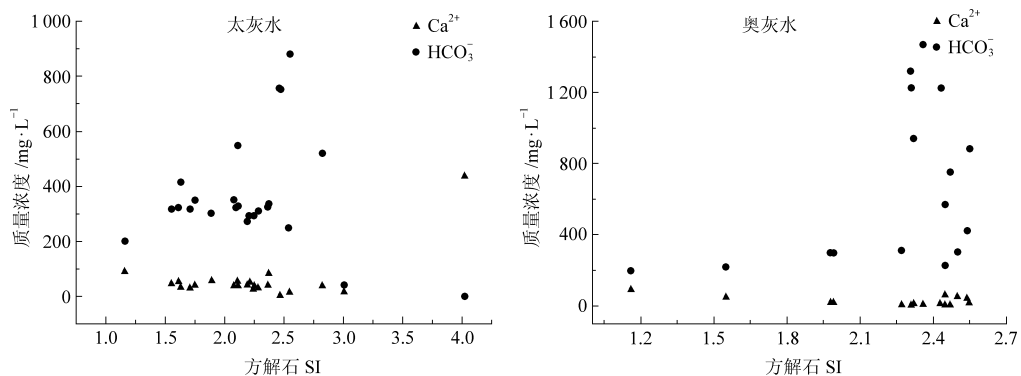
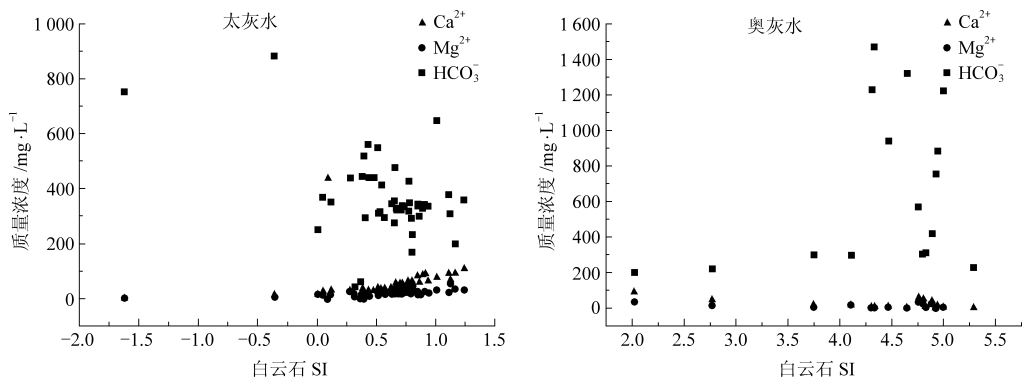
由图5可以看出,灰岩水岩盐的饱和指数均小于-0.5,处于未饱和状态,表明在灰岩水中,岩盐处于溶解状态,故离子浓度增加,使灰岩水多以Cl-Na为主。图6为研究区灰岩水 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 和 Cl^- 离子的浓度与饱和指数SI的关系图,可以看出, Na^+ 和 Cl^- 质量浓度随着岩盐饱和指数的增加而增加,且具有很好的曲线增长关系。图7和图8分别表示方解石和白云石饱和指数与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和

HCO_3^- 的关系图,可以看出,太灰水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 随方解石和白云石SI值的增加而波动,且方解石和白云石在太灰水中的饱和指数均小于-0.5(图5),表明方解石和白云石在太灰水中趋于发生沉淀作用;奥灰水中的 HCO_3^- 随着方解石和白云石SI值的增加而呈较大增长趋势,而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 随方解石和白云石SI值的增加而波动,表明奥灰水中的 HCO_3^- 来源于白云石和方解石,而其饱和指数小于-0.5,可能存在其他离子反应。



注:1-为太灰水,2-为奥灰水

图5 岩盐及碳酸盐矿物的饱和指数图

图 6 岩盐 SI 值与 Na^+K^+ 和 Cl^- 质量浓度关系图 7 方解石 SI 值与 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 质量浓度关系图 8 白云石 SI 值与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 质量浓度关系

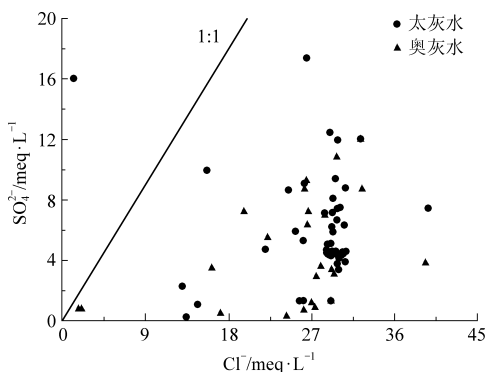
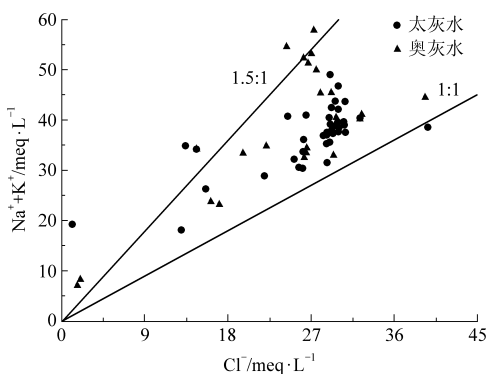
2.4 离子浓度之间的关系

用离子比例系数法揭示硫酸盐矿物的溶解状态。其中 $\gamma\text{SO}_4^{2-}/\gamma\text{Cl}^-$ 系数可作为反映阴离子演化过程及组分分配比变化的水文地球化学参数。一般沿地下水流向,若 SO_4^{2-} 浓度增加,则可能发生硫酸盐的溶解;若 SO_4^{2-} 浓度减少,则可能发生硫酸盐的还原。图 9 可以看出,除了太灰水个别水样 $\gamma\text{SO}_4^{2-}/\gamma\text{Cl}^-$ 值大于 1 外,其余灰岩水 $\gamma(\text{SO}_4^{2-}/$

$\text{Cl}^-)$ 值均小于 1,表明研究区的奥灰水和多数太灰水中 Cl^- 比 SO_4^{2-} 增加快,硫酸盐发生还原,个别太灰水水样存在硫酸盐的溶解。

饱和度分析表明,研究区太灰水和奥灰水多数以岩盐的溶解为主,那么太灰水和奥灰水 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ 值应该为 1,而图 10 可以看出,灰岩水比值均在直线 1:1 之上。 $\gamma(\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-)$ 值分析表明,个别太灰水存在硫酸盐的溶解,饱和度分析

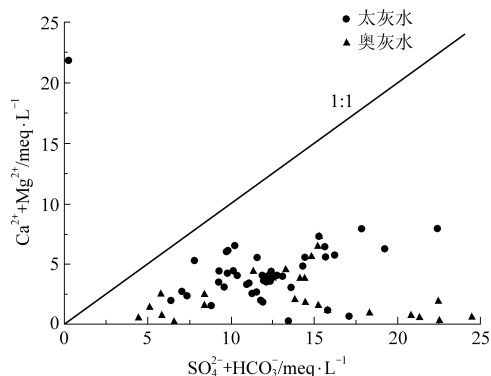
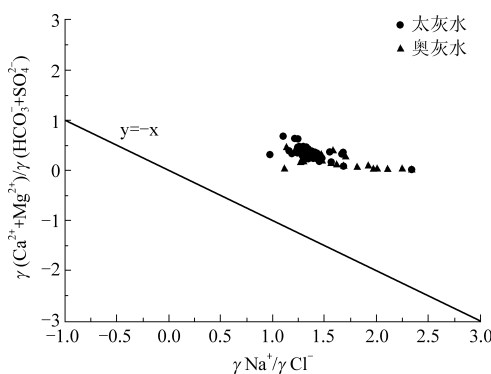
表明,少数奥灰水存在方解石和白云石的溶解。如果 Na^+ 和 Cl^- 均来自于岩盐的溶解, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 来自白云石、方解石和石膏的溶解,那么 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ 值或 $\gamma(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\gamma(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ 值理论上等于 1^[13-14]。实际研究区灰岩水 $\gamma(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\gamma(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ 值小于 1(图 11),有可能是阳离子交替吸附作用导致 Na^+ 离子增加, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子减少^[15-17]。图 12 为 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ 和 $\gamma(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\gamma(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ 关系,可以看出,研究区灰岩水 $\gamma(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\gamma(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ 系数随着 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ 系数的增长呈下降趋势,表明发生了离子交替吸附作用,但并非等比例减少,表明 Na^+ 离子含量高,除了离子交替吸附作用外,可能还存在其他反应,如钠长石的溶解等。

图 9 灰岩水 $\gamma\text{SO}_4^{2-}/\gamma\text{Cl}^-$ 比值相关图图 10 灰岩水 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^-$ 比值相关图

3 结论

(1) 水化学特征研究表明,潘谢矿区灰岩水为弱碱性水,灰岩水阳离子均以 Na^+ 为主,太灰水阴离子以 Cl^- 为主,太灰水水化学类型以 $\text{Cl}-\text{Na}$ 为主,奥灰水阴离子以 Cl^- 为主, HCO_3^- 次之,水化学类型多为 $\text{Cl}-\text{Na}$ 和 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3^- - \text{Na}$ 。

(2) 离子浓度与 TDS 的关系表明,太灰水和

图 11 灰岩水 $\gamma(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\gamma(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ 比值相关图图 12 $\gamma\text{Na}^+/\gamma\text{Cl}^- - \gamma(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\gamma(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ 关系图

奥灰水的水岩相互作用是以含 Na^+ 和 Cl^- 离子的矿物溶解为主,即岩盐的溶解。饱和指数的研究进一步证明了灰岩水中,岩盐处于不饱和状态,处于溶解状态,故 Na^+ 和 Cl^- 浓度增加,且方解石和白云石在太灰水中趋于发生沉淀作用,在奥灰水趋于溶解作用。离子比例系数分析结果表明个别太灰水水样存在硫酸盐的溶解。离子比例系数同时表明,由于离子交替吸附作用,使得研究区灰岩水多以 $\text{Cl}-\text{Na}$ 为主。

参考文献

- [1] Stotler R L, Frapce S K, Ruskeeniemi T, et al. Hydrogeochemistry of groundwaters in and below the base of thick permafrost at Lupin, Nunavut, Canada [J]. Journal of Hydrology (Amsterdam), 2009, 373 (1-2): 80-95.
- [2] 沈照理, 王焰新. 水-岩相互作用研究的回顾与展望 [J]. 地球科学, 2002, 27 (2): 127-133.
- [3] 王剑, 罗朝晖, 陈植华, 等. 滇东北毛坪铅锌矿区水化学特征及成因 [J]. 环境化学, 2018, 37 (6): 1421-1431.
- [4] 陈陆望, 许冬清, 殷晓曦, 等. 华北隐伏型煤矿区地下水化学及其控制因素分析——以宿县矿区主要突水含水层为例 [J]. 煤炭学报, 2017, 3 (4): 996-1004.
- [5] 张崇良. 北宿煤矿各含水层水化学特征分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2005 (33): 159-161.

- [6] 孙林华, 桂和荣. 皖北桃源矿深部含水层地下水地球化学数理统计分析 [J]. 煤炭学报, 2013, 38 (S2): 442-447.
- [7] 栾凤娇, 周金龙, 贾瑞亮, 等. 新疆巴里坤-伊吾盆地地下水水化学特征及成因 [J]. 环境化学, 2017, 2: 380-389.
- [8] Wen X H, Wu Y Q, Wu J. Hydrochemical characteristics of groundwater in the Zhangye Basin, Northwestern China [J]. *Environmental Geology*, 2008, 55 (8): 1713-1724.
- [9] 王德高, 余凯. 潘谢矿区深部地下水常规水化学特征的多水源示踪分析 [J]. 淮南师范学院学报, 2016, 18 (3): 104-107.
- [10] Armengol S, Manzano M, Bea S A, et al. Identifying and quantifying geochemical and mixing processes in the Matanza-Riachuelo Aquifer System, Argentina [J]. *Science of The Total Environment*, 2017, 599-600: 1417-1432.
- [11] 王贝贝, 卢国平, 胡晓农, 等. 粤西深大断裂温泉水化学分析 [J]. 环境化学, 2019, 38 (5): 1-10.
- [12] 钱会. 水文地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [13] Edmunds W M, Carrillo-Rivera J J, Cardona A. Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico City [J]. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 2002, 258 (1-4): 1-24.
- [14] 卞跃跃, 赵丹, 韩永. 兖州煤田奥陶系灰岩地下水水化学特征及其形成机理 [J]. 地球学报, 2017 (2): 110-116.
- [15] Ettazarini S. Processes of water-rock interaction in the Turonian aquifer of Oum Er-Rabia Basin, Morocco [J]. *Environmental Geology (Berlin)*, 2005, 49 (2): 293-299.
- [16] 卞跃跃, 赵丹, 韩永. 兖州煤田奥陶系灰岩地下水水化学特征及其形成机理 [J]. 地球学报, 2017, 38 (2): 236-242.
- [17] Rajmohan N, Elango L. Identification and evolution of hydro-geochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India [J]. *Environmental Geology*, 2004, 46 (1): 47-61.