doi：10.11720/wtyht.2019.1400
牛俊强,范威,郭昆.武汉城市圈岩溶热储水化学特征及水—岩作用研究[J].物探与化探,2019,43(4):741-748.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1400
Niu J Q,Fan W,Guo K.A study of chemical characteristics and water-rock interaction of karstic geothermal reservoir in Wuhan city circle[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2019,43(4):741-748.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1400

武汉城市圈岩溶热储水化学特征及水—岩作用研究

牛俊强[1],范威[1],郭昆[1,2]
(1.湖北省地质环境总站,湖北 武汉　430034; 2.中国地质大学(武汉) 环境学院,湖北 武汉　430074)

摘 要：根据武汉城市圈岩溶热储地热田的地下热水水化学数据,总结了岩溶热水的水化学类型,分析了岩溶热水中主要组分随温度的变化特征,重点研究了水—岩作用程度和作用时间的关系,系统分析了热水中主要离子的水化学作用过程。研究结果表明,热水中主要组分含量受温度和水岩作用过程控制,TDS 含量随水岩作用时间的增加而增加,随着 TDS 含量的增加,水岩作用受碳酸盐溶解控制逐渐转变为受硫酸盐溶解控制,高 TDS 时,盐岩溶解作用加强;浪口、五洪山、蛇屋山地热田属同一个岩溶水流系统,汤池地热田、马口地热井属同一个水流系统,其他地热田属各自独立的水流系统。

关键词：岩溶热储;水化学特征;水—岩作用;武汉城市圈
中图分类号：P632　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-8918(2019)04-0741-08

0 引言

前人在水—岩作用研究中做了大量的工作,取得的成果汗牛充栋,特别是在水化学成分的地球化学过程研究中,总结了水—岩系统演化过程中分散和富集元素的相互关系[1-8]。笔者充分收集了武汉城市圈内各岩溶热储地热田的水化学数据,系统研究了该区岩溶热储水化学总体特征及水—岩作用过程,并探讨了二者在地下水流系统中的应用,为大型岩溶热储系统研究提供了新的思路。

1 岩溶热储基本特征

武汉城市圈内发现岩溶热储地热田 13 处,可分为两类:即二叠系—三叠系碳酸盐岩岩溶热储和震旦系—奥陶系碳酸盐岩岩溶热储,二者之间为志留系阻隔。

石炭系—三叠系碳酸盐岩岩溶热储分布于武汉市、黄石市、黄冈市等地。岩溶热水温度一般低于 35℃,热储岩性为灰岩、炭质灰岩、白云质灰岩等,热储层上部为二叠系—三叠系碳酸盐岩或碎屑岩等,保温隔热作用不明显,热储底部为志留系,受志留系阻隔,各岩溶热储各自孤立。

震旦系—奥陶系碳酸盐岩岩溶热储分布于天门市、孝感市、咸宁市、黄石市等地。岩溶热水温度一般为 37~65 ℃,仅西坑地热田岩溶热水温度为 27 ℃,热储岩性为白云岩、白云质灰岩、灰岩等。咸宁温泉、五洪山、浪口、蛇屋山、汤池等地热田热储都有不同程度的硅化现象,特别是热储层顶部往往出现“硅帽”,热储层上部一般覆盖巨厚的志留系,具有良好的保温隔热作用。

岩溶热储地热田的基本情况列于表 1。

2 岩溶热水水化学特征

2.1 水化学数据来源

本次研究于 2017 年分别在咸宁市温泉、嘉鱼蛇

收稿日期：2018-11-02; **修回日期**：2019-03-21
基金项目：2017 年度湖北省国土资源科学技术研究计划(ETZ2017A03)
作者简介：牛俊强(1981-),男,高级工程师,水文地质、工程地质专业,主要从事地热地质研究工作。Email:524279545@qq.com

表 1 武汉城市圈岩溶热储地热田基本情况[9-12]

Table 1 The basic situation of karst thermal reservoir geothermal fields in Wuhan City Circle

序号	地热田	补给区	相对补给区位置	水温/℃	热储岩性	水质资料/份
1	咸宁市温泉	大幕山区	北西 9 km	51	奥陶系硅化灰岩	79
2	嘉鱼蛇屋山	大幕山区	北西 50 km	57	奥陶系白云质灰岩	5
3	赤壁五洪山	大幕山区	北西 40 km	57	奥陶系中统硅化灰岩	8
4	黄石市胡家湾煤矿	黄荆山	北西 1.5 km	35	三叠—石炭系灰岩、炭质灰岩	1
5	大冶章山			37	寒武系白云岩、白云质灰岩	2
6	应城汤池	大洪山区	南东 20 km	55	震旦系白云岩、硅质白云岩	2
7	洪湖乌林	大药姑山区	北西 40 km	60	二叠系白云质灰岩	10
8	崇阳浪口	大幕山区	西 15 km	47	寒武系硅化白云岩	14
9	武汉三门湖	青龙山	南西 2 km	27	石炭—二叠系的碳酸盐岩	1
10	通山西坑	大幕山区	南西 0.5 km	27	寒武系和奥陶系灰岩	2
11	汉川马口地热井	大洪山区	南东 70 km	52	寒武—奥陶系碳酸盐岩	2
12	天门张港地热井	大洪山区	南西 40 km	65	震旦—寒武系碳酸盐岩	1
13	武汉武 5 井	封存水		37.5	寒武—奥陶系碳酸盐岩	1

屋山、赤壁五洪山、大冶章山、应城汤池、洪湖乌林、崇阳浪口、通山西坑等 8 个地热田和汉川马口地热井采集岩溶热水样 9 组,(另外 4 个地热田/井已封闭,未能采集到水样,本次研究利用所收集到的数据资料),另外在大幕山区、九宫山区、大药姑山区、大洪山区等地采集冷泉水样 4 组。水样的采集与保存按照《地热资源地质勘查规范(GB/T 11615-2010)》附录 B 的要求进行,分析测试单位为中国地质大学(武汉)地质调查院实验中心,主要测试了水化学常量元素、微量元素、同位素等,常量元素、微量元素采用电感耦合等离子体发射光谱仪(美国赛默飞,iCAP-7600)和离子色谱(美国赛默飞,ICS2100)进行测试,^{14}C 采用超低本底液体闪烁能谱仪进行测试,测试结果可靠。同时收集了各地热田不同时期的水化学测试结果 118 份。

2.2 水化学类型

岩溶热水由于温度较高,与围岩反应强烈,因而溶解的化学物质总量较大,成分也较普通地下水复杂[13]。

研究区岩溶热水 pH 一般大于 7,最大为 8.33,为弱碱性水,TDS 介于 290.43~9 548.69 mg/L 之间,阴离子多以 HCO_3^-、SO_4^{2-} 为主,少量以 Cl^-、SO_4^{2-} 为主,阳离子多以 Ca^{2+}、Mg^{2+} 为主,少量以 Na^+、Ca^{2+} 为主。除了主要离子之外,岩溶热水中还含有多种微量元素[1],其中含量稍大的有偏硅酸、氟、锶、锂、铁等,及微量的锰、钴、钡、镍、铬等,同时有些热水中还存在较多的硫化氧气体和少量放射性元素。

将岩溶热水及补给区冷泉水的水质数据绘制成 Piper 图(图 1),可以看出,样品中水化学类型差异较大,这与地下水径流路径密切相关。补给区冷泉

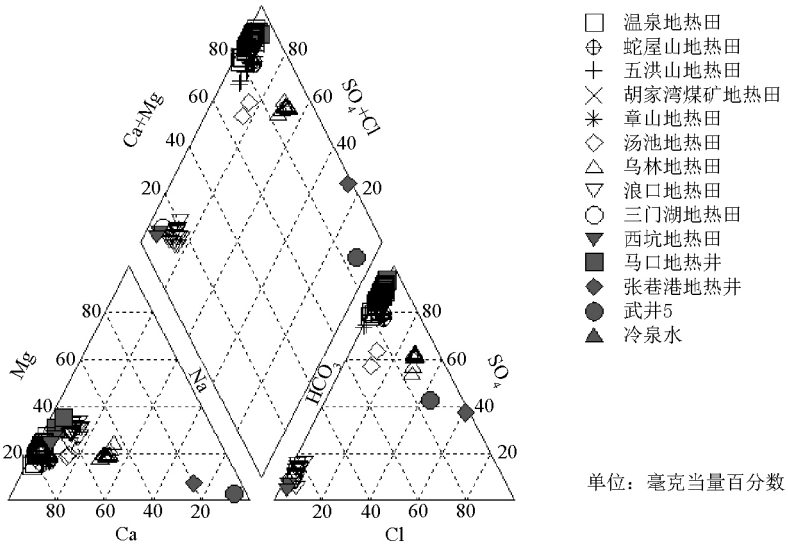

图 1 岩溶热水与冷泉水三线图(下文中各图图例同本图)

Fig.1 The piper trilinear diagram of karst hot water and cold spring water

(the legends in the following figures are the same as this one)

水位于三线图的左下方,其阴、阳离子分别以 HCO_3^-、Ca^{2+}(Mg^{2+})为主,水化学类型为 HCO_3-Ca 或 HCO_3-Ca · Mg 型;三门湖、西坑、浪口等径流时间较短的岩溶热水同样位于三线图的左下方,相较于冷泉水,其阴离子中 SO_4^{2-} 含量略有增加,阳离子中 Mg^{2+}、Na^+含量略有增加,水化学类型为 HCO_3-Ca · Mg 型;咸宁温泉、五洪山、胡家湾煤矿、马口等径流时间较长的岩溶热水位于三线图的顶部,其阴离子以 SO_4^{2-} 为主,次为 HCO_3^-,阳离子主要以 Ca^{2+},次为 Mg^{2+},水化学类型主要为 SO_4-Ca、SO_4-Ca · Mg 型,少量 SO_4 · HCO_3-Ca 型;三线图右侧从右上到右下,分别为蛇屋山、汤池、乌林、张港、武 5 井等,径流时间逐渐增加,其主要阴离子由 SO_4^{2-} 逐渐变为 Cl^-,主要阳离子逐渐由 Ca^{2+}(Mg^{2+})变为 Na^+,水化学类型由 SO_4-Ca 逐渐向 SO_4 · Cl-Na · Ca、Cl · SO_4-Na 转变。

2.3　主要组分与温度的关系

在岩溶热水主要组分与温度的关系图中,HCO_3^- 含量随着温度的升高略有下降(图 2); K^+、Na^+在含量较低(约 30 mg/L)时,与温度呈线性正相关,超过该值后,与温度关系不明显;Ca^{2+}、Mg^{2+}离子先是随着温度的升高有所升高,当温度升高到一定值后,又随着温度的升高有所降低;在温度较低(约低于 40℃)时,TDS 随温度升高而升高,超过一定温度后,Cl^-、TDS 与温度关系不明显;pH 基本不随温度变化; 其他组分都随温度的升高含量增大。

SiO_2 含量与温度的线性关系较为明显,表明其主要受温度的控制,而其他组分除受温度的影响外,还与溶解矿物的种类有关。

3　水岩作用过程

3.1　水岩作用程度和作用时间

在 Na-K-Mg 平衡图中(图 3)显示,武汉城市圈岩溶热水均属于“未成熟水”,即水岩作用尚未到达平衡,溶解作用仍在进行[14]。岩溶热水均靠近 Mg 区,但蛇屋山、乌林、张港地热井、武 5 井等岩溶热水逐渐向 Na、K 区靠近,水岩作用程度逐渐加强,特别是张港地热井、武 5 井已达到了部分平衡。

随着水岩作用时间的增加(图 4,图中两种箭头表示两条径流路径),岩溶热水中 TDS 含量逐渐增加,反映在 Na-K-Mg 平衡图上,岩溶热水逐渐离开 Mg 区,向平衡线靠近。

随着 TDS 的变化,岩溶热水中主要离子成分也随之变化[15](图 5),TDS 小于 500 mg/L 的水中,以 HCO_3^-、Ca^{2+}、Mg^{2+}离子为主;TDS 大于 4 000 mg/L 的水中,以 Cl^-、SO_4^{2+}、Na^+、Ca^{2+}离子为主;TDS 中等的水中,以 SO_4^{2+}、HCO_3^-、Ca^{2+}离子为主。

从岩溶热水主要组分与 TDS 的关系图中可以看出,HCO_3^- 离子含量随着 TDS 的增加而下降,其他组分均随 TDS 的增加而增加;SO_4^{2+}、Ca^{2+}、Mg^{2+}离子在 TDS 达到的一定数值后,增速变缓或略有下降;Cl^-、Na^+在 TDS 较低时(约 4 000 mg/L)变化不明显,TDS 超过该值后,急剧升高。

3.2　主要离子水化学作用过程

岩溶热水中各种离子含量主要是水岩作用的结果[16-18]。

碳酸盐岩的主要成分为方解石、白云石等,而 $CaCO_3$、$MgCO_3$ 难溶于水,但当水中存在 CO_2 时,$CaCO_3$、$MgCO_3$ 可以少量溶解于水。岩溶热水中 HCO_3^- 的含量一般小于 300 mg/L(5 mmol/L),在低 TDS 热水中,(Ca^{2+}+Mg^{2+})与 HCO_3^- 的浓度比基本为 1∶2(图 6);受方解石、白云石溶解的控制,中高 TDS 热水中,图形明显偏向(Ca^{2+}+Mg^{2+})一侧,表明在中高 TDS 热水中 Ca^{2+}、Mg^{2+}另有来源。Ca^{2+}与 Mg^{2+}对比图(图 7)反映,当 Ca^{2+}达到一定浓度后,Mg^{2+}浓度仍在增加,表明方解石的溶解速率高于白云石,当热水中方解石已经过饱和时,白云石仍在溶解。

随着 TDS 的增加,SO_4^{2-} 和 Ca^{2+}的含量不断升高,在 SO_4^{2-} 含量小于 1 500 mg/L(15 mmol/L)时,SO_4^{2-} 和 Ca^{2+}的浓度比大致为 1∶1(图 8);随着硫化物的氧化,SO_4^{2-} 含量进一步增加,受石膏溶解度的控制,Ca^{2+}的浓度不再增加,而 Mg^{2+}、Sr^{2+}等浓度相应增加。

岩溶热水 Cl^-与 Na^+浓度对比图(图 9)显示,乌林地热田热水中 Cl^-与 Na^+浓度比接近 1,Na^+受盐岩溶解控制,其他点均偏向 Na^+离子一侧,表明 Na^+离子除盐岩溶解外,还有其他方面的来源,可能是钠长石的水解作用。岩溶热水相对于盐岩远未达到饱和。

K^+的来源与 Na^+相近,主要来自于钾盐岩类的溶解,随温度的升高含量逐渐增加(图 2)。K^+易被植物所摄取,且多参与形成不溶于水的次生矿物,故岩溶热水中 K^+含量远少于 Na^+。

Sr 的地球化学性质同 Ca、Mg 相似,往往替代碳酸盐、硫酸盐矿物中的 Ca、Mg 参与水—岩作用[19-20],Sr^{2+}与 Ca^{2+}浓度对比(图 10)显示,Sr^{2+}与 Ca^{2+}浓度基本呈线性相关。

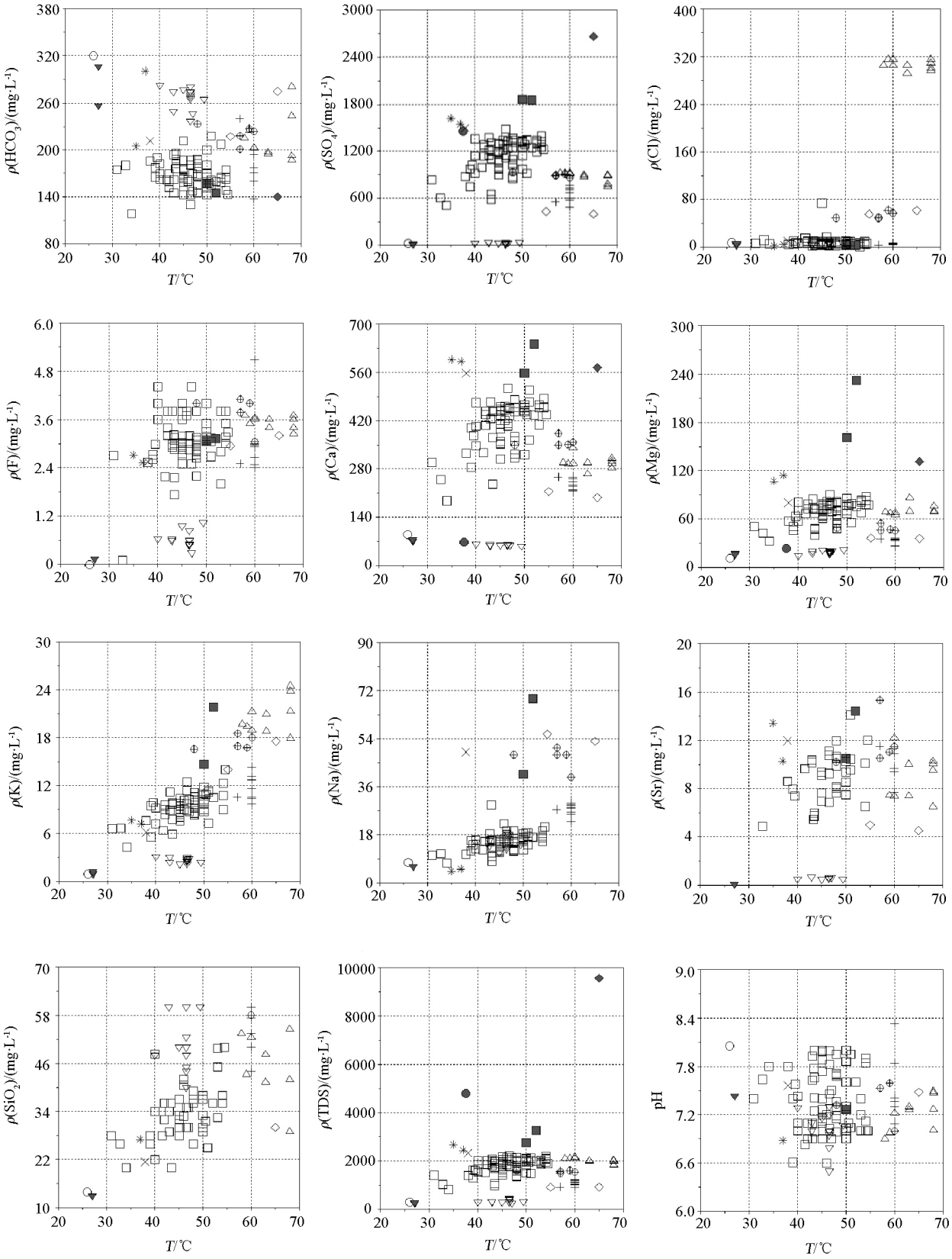

图 2 岩溶热水主要组分与温度关系

Fig.2 The relationship between main components of karst hot water and temperature

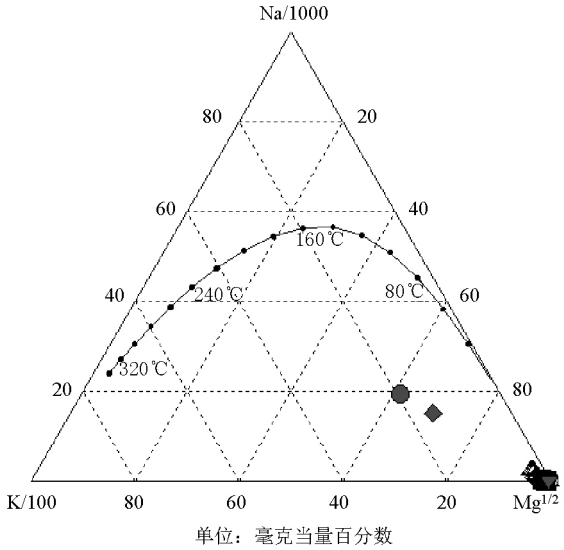

图 3　Na-K-Mg 平衡图

Fig.3　Na-K-Mg equilibrium

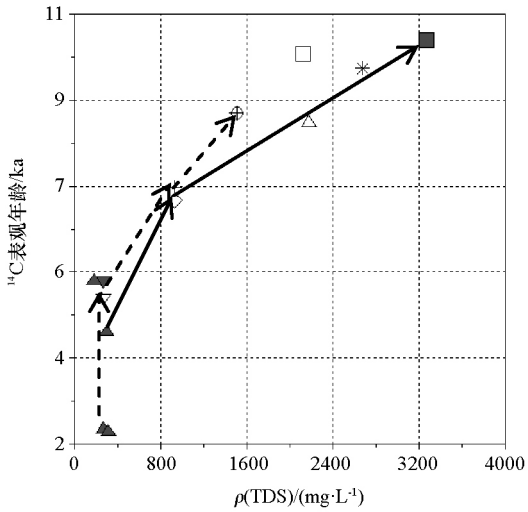

图 4　^{14}C 表观年龄与 TDS 关系图

Fig.4　The relationship between ^{14}C apparent age and TDS

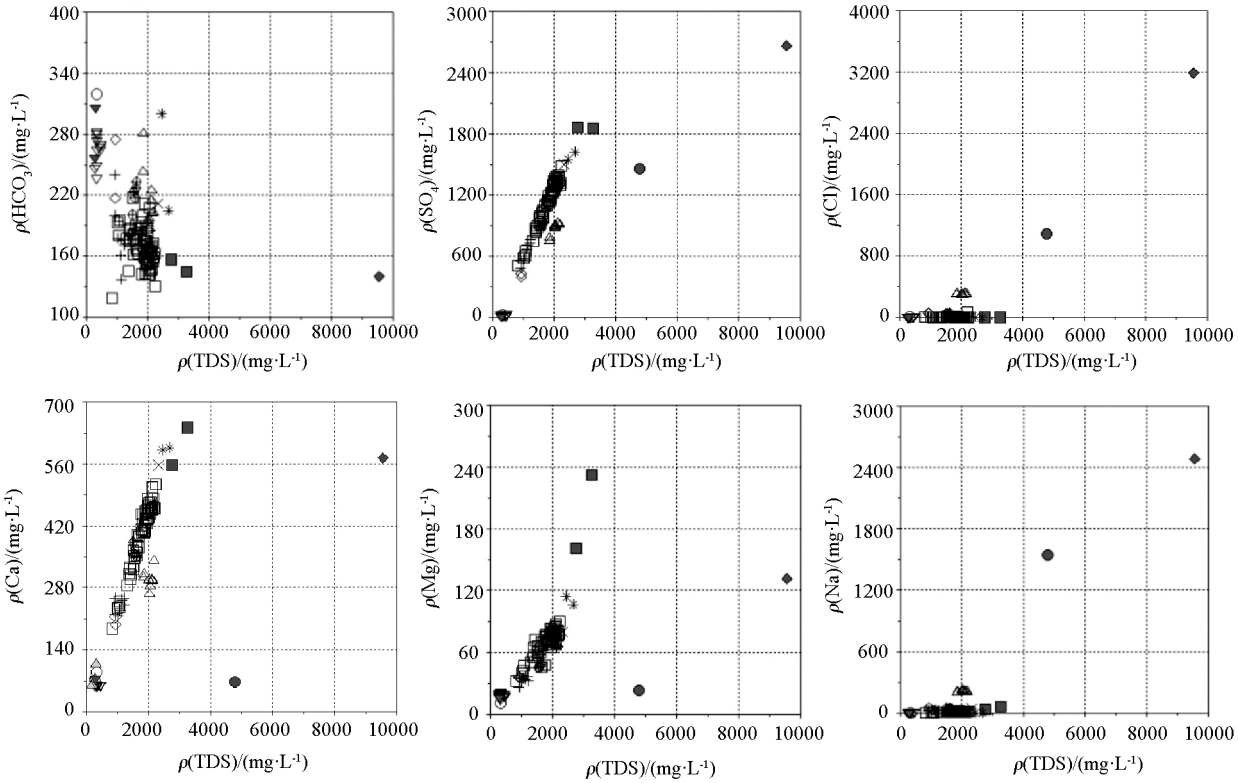

图 5　岩溶热水主要组分与 TDS 关系

Fig.5　The relationship between main components of karst hot water and TDS

热水中的 SiO_2 主要来源于含硅矿物的溶解[6]，石英比玉髓的溶解度要低，随着温度的增加而增加，随着温度的升高，热水中 SiO_2 含量逐渐升高（图 2）。

热水中 F^- 主要来自萤石矿物的溶解，F^- 含量一般大于 1 mg/L（图 2），随着温度的升高，萤石矿物的溶解度增大，F^- 含量逐渐增加；另一方面由于石膏的溶解，水中 Ca^{2+} 增大，致使碳酸钙沉淀，HCO_3^- 降低，从而促使萤石的溶解，F^- 含量增加，HCO_3^- 与 F^- 呈负相关关系（图 11）。

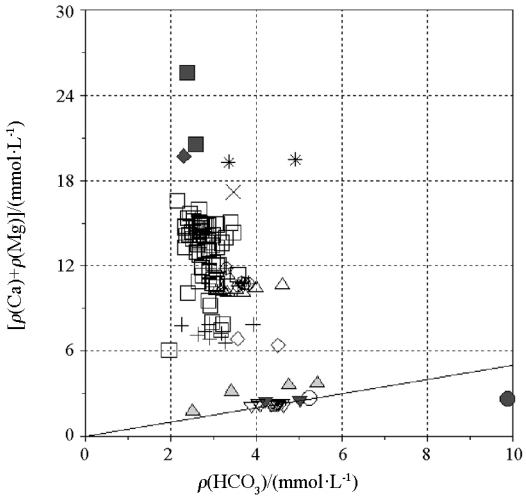

图 6　岩溶热水 HCO_3^- 与 Ca^{2+}、Mg^{2+}浓度对比

Fig.6　Comparison of HCO^{3-}, Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations in karst hot water

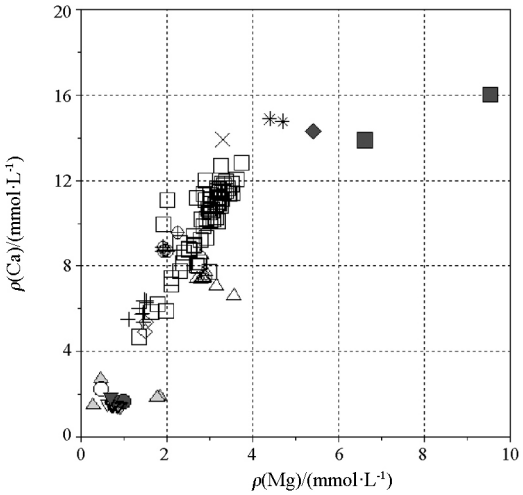

图 7　岩溶热水 Ca^{2+} 与 Mg^{2+}浓度对比

Fig.7　Comparison of Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations in karst hot water

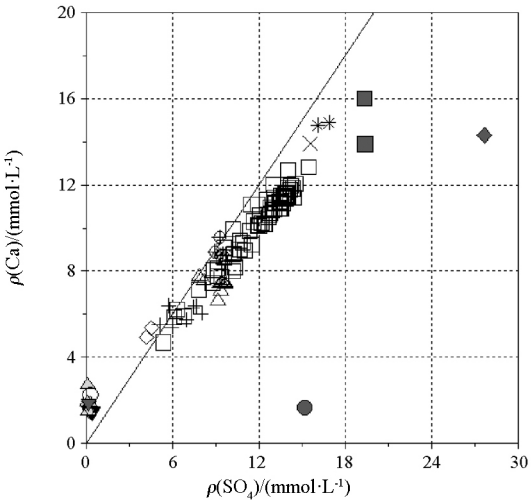

图 8　岩溶热水 SO_4^{2-} 与 Ca^{2+}浓度对比

Fig.8　Comparison of SO_4^{2-} and Ca^{2+} concentrations in karst hot water

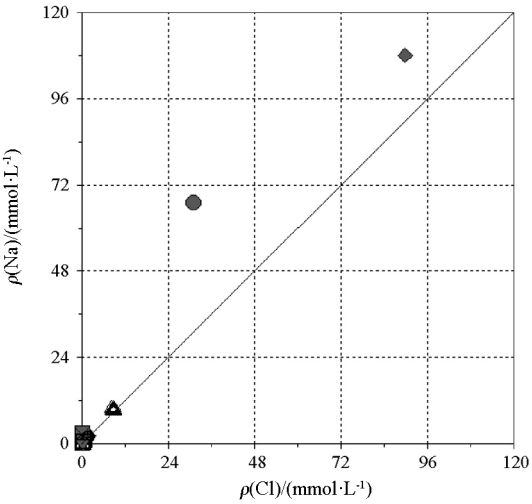

图 9　岩溶热水 Cl^- 与 Na^+浓度对比

Fig.9　Comparison of Cl^- and Na^+ concentrations in karst hot water

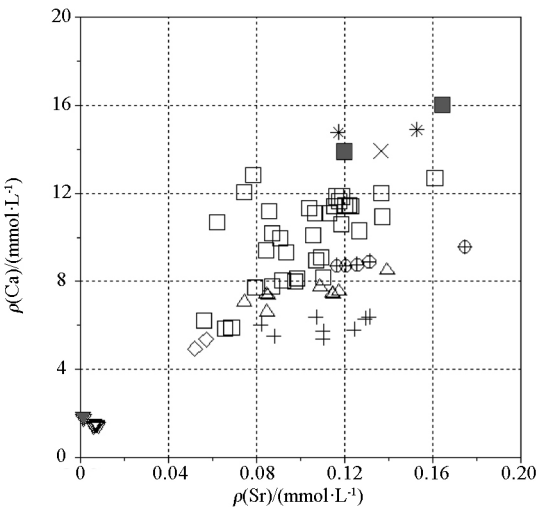

图 10　岩溶热水 Sr^{2+} 与 Ca^{2+}浓度对比

Fig.10　Comparison of Sr^{2+} and Ca^{2+} concentrations in karst hot water

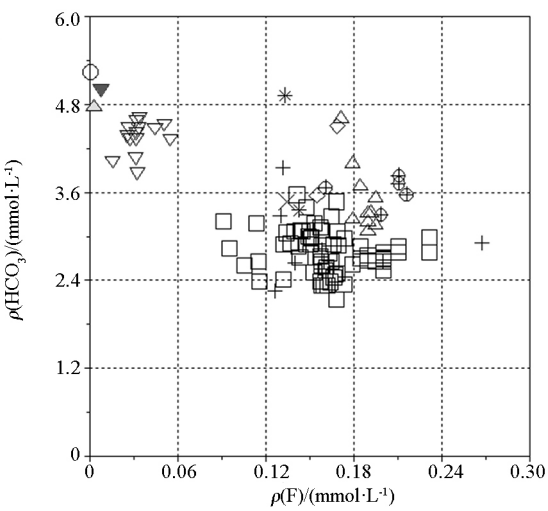

图 11　岩溶热水 F^- 与 HCO_3^- 浓度对比

Fig.11　Comparison of F^- and HCO_3^- concentrations in karst hot water

4　讨论

岩溶热水的水化学组分不仅与温度有关,还与地下水水流路径、作用时间、矿物溶解度等密切相关,其变化具有一定的规律性。

补给区或径流路径较短的局部水流系统排泄区多为低 TDS 水,主要受碳酸盐溶解的控制,以 HCO_3^-、Ca^{2+}、Mg^{2+}离子为主,水化学类型为 HCO_3-Ca 或 HCO_3-Ca · Mg 型;区域水流系统的径流区或径流路径较长的中间水流系统的排泄区多为中等 TDS 水,主要受硫酸盐溶解的控制,以 SO_4^{2+}、HCO_3^-、Ca^{2+}离子为主,水化学类型多为 SO_4-Ca、SO_4-Ca · Mg 型,少量为 SO_4 · HCO_3-Ca 型;区域水流系统的排泄区或滞留区,盐岩的溶解作用逐渐加强,以 Cl^-、SO_4^{2+}、Na^+、Ca^{2+}离子为主,水化学类型由 SO_4-Ca 逐渐向 SO_4 · Cl-Na · Ca、Cl · SO_4-Na 转变。

从区域地热地质条件分析,浪口、五洪山、蛇屋山地热田热水均来源于大幕山区西坡,热水补给径流方向为 SE—NW 向,图 4(虚线箭头)显示,由大幕山冷泉水至蛇屋山地热田,地下水^{14}C 年龄逐渐增加,TDS 也逐渐升高,水化学类型由 HCO_3-Ca · Mg 型转变为 SO_4 · HCO_3-Ca 型,再转变为 SO_4-Ca 型,显示径流路径、径流时间逐渐变长,可以判断三者同属一个岩溶水流系统;汤池地热田、马口地热井热水均来源于大洪山区,且热水补给径流方向均为 NW—SE 向,图 4(实线箭头)显示,由大洪山冷泉水至马口地热井,地下水^{14}C 年龄逐渐增加,TDS 也逐渐升高,水化学类型由 HCO_3-Ca · Mg 型转变为 SO_4 · HCO_3-Ca 型,再转变为 SO_4-Ca · Mg 型,同样显示径流路径、径流时间逐渐变长,可以判断二者属于同一个岩溶水流系统;其他地热田热水补给来源各有不同,因此各自为独立的水流系统。

5　结论

研究区岩溶热水水化学类型主要为 SO_4-Ca、SO_4-Ca · Mg 型,次为 HCO_3-Ca · Mg 型,少量为 SO_4 · Cl-Na · Ca、Cl · SO_4-Na 型。岩溶热水中 SiO_2 含量主要受温度的控制,而其他组分除受温度的影响外,还与水岩作用过程密切相关。区内岩溶热水均属“未成熟水”,随着水岩作用时间的增加,热水中 TDS 含量逐渐增加,低 TDS 时,水岩作用主要受碳酸盐溶解的控制;中等 TDS 时,水岩作用主要受硫酸盐溶解的控制;高 TDS 时,盐岩的溶解作用逐渐加强。结合地热地质条件可以判断:浪口、五洪山、蛇屋山地热田属同一个岩溶水流系统,汤池地热田、马口地热井属同一个水流系统,其他地热田属各自独立的水流系统。

参考文献(References):

[1] 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:中国地质大学学报,2002,27(2):127-133.
Shen Z L,Wang Y X.Review and outlook of water-rock interaction studies[J]. Earth Science:Journal of China University of Geosciences,2002,27(2):127-133.

[2] 沈照理.应该重视水—岩相互作用的研究[J].水文地质工程地质,1991,18(2):1.
Shen Z L. More attention should be paid to water-rock interaction studies[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1991, 18(2):1.

[3] 王焰新,沈照理.水—岩相互作用研究历史回顾与创新领域展望[C]//第四届世界华人地质科学研讨会论文摘要集,2002.
Wang Y X,Shen Z L. Historical review and outlook for innovation field of water-rock interaction studies[C]//Summary of Papers of the Fourth World Chinese Symposium on Geological Sciences, 2002.

[4] Ellis A J,Mahon W A J.Geochemistry and Geothermal Systems[M].New York:Academic Press,1977.

[5] Giggenbach W F.Andesitic water:A phanton of isotonpic evolution of water-silicate system[J].Earth and Planetery Science Letters, 1990(120):519-522.

[6] 曹云.重庆市北温泉景区温泉和钙华的地球化学研究[D].重庆:西南大学,2007.
Cao Y.Study on geochenical characteristicd of warm spring water and travertine in north springs of Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University,2007.

[7] 曹云.重庆市北温泉与四川康定温泉水之地球化学特征对比[J].中国岩溶,2006,25(2):112-120.
Cao Y.Comparison of geochemical features of warm springs between Chongqing and Kangding[J]. Carsologica Sinica, 2006,25(2):112-120.

[8] 黄爽兵,李晓,刘昌蓉.云南省龙陵县地下热水特征及控制因素研究[J].水土保持研究,2007,14(3):147-149.
Huang S B,Li X,Liu C R.Study on characteristics and control factors of underground hot water in area of Nongling,Yunnan[J]. Research of Soil and Water Conservation,2007,14(3):147-149.

[9] 牛俊强,苏呈,廖媛.湖北省地下热水成因类型及成矿模式分析[J]. 资源环境与工程,2018,32(4):595-598.
Niu J Q,Su C,Liao Y.Genetic type and metallogenic model of geothemal water in Hubei Province[J]. Resources Environment & Engineering,2018,32(4):595-598.

[10] 程伯禹. 湖北省地热资源与可持续开发利用[J].资源环境与工程,2007,21(S1):107-110.
Cheng B Y. Geothermal resources and its sustainable development in Hubei Province [J]. Resources Environment & Engineering, 2007,21(S1):107-110.

[11] 陆天平, 陈忠奎.湖北省地热的基本类型、特征及生成规律[J].资源环境与工程, 2007,21(6):691 - 694.
Lu T P,Chen Z K.Basic types,characteristics and forming rules of terrestrial heatin Hubei[J]. Resources Environment & Engineering, 2007,21(6):691 - 694.

[12] 宁国民,陆柏树,李刚,等.江汉盆地洪湖乌林浅埋型地热田综合评价[J].资源环境与工程, 2007,21(S1):111 - 115.
NIng G M,Lu B S,Li G,et al. Comprehensive evaluation of the Wulin geothermal field in Honghu City of Jianghan basin [J]. Resources Environment & Engineering, 2007,21(S1):111 - 115.

[13] 汪集旸. 中低温对流型地热系统[M]. 北京:科学出版社, 1993.
Wang J Y. Low- medium temperature geothermal system of convective type [M]. Beijing: Science Publishing House, 1993.

[14] 郭海清,马瑞,王焰新,等. 盆—山地下水系统演化及其水资源—环境效应[M]. 北京:科学出版社, 2010.
Guo H Q,Ma R,Wang Y X,et al.Evolution of basin-mountain-scale groundwater system and its water resource-environment effects:A case study at Taiyuan basin,Shanxi Province,China [M]. Beijing: Science Publishing House, 2010.

[15] 马腾,王焰新,马瑞,等.太原盆地区碳酸盐岩中—低温地热系统演化[J].地球科学:中国地质大学学报,2012,37(2):229 - 238.
Ma T,Wang Y X,Ma R,et al. Evolution of medium-low temperature carbonate geothermal system in Taiyuan,northern China [J]. Earth Science -Journal of China University of Geosciences, 2012, 37(2):229 - 238.

[16] 梁杏,张人权,靳孟贵. 地下水流系统[M]. 北京:地质出版社, 2015.
Liang X,Zhang R Q, Jin M G. Systems of groundwater flow[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.

[17] Jozsef Toth.重力驱动地下水流系统理论及其应用[M]. 北京:地质出版社, 2015.
Jozsef Toth.Gravitational systems of groundwater flow: Theory,evaluation,utilization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.

[18] 张人权,梁杏,靳孟贵,等.水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社, 2011.
Zhang R Q,Liang X,Jin M G,et al.Fundamentals of hydrogeology [M]. Beijing: Geological Publishing House,2011.

[19] 肖琼.重庆三叠系碳酸盐岩热储成因与水—岩作用过程研究[D].重庆:西南大学,2012.
Xiao Q. Water-rock interaction and genesis of thermal groundwater in carbonate reservoir in Chongqing[D]. Chongqing:Southwest University,2012.

[20] 王焰新,孙连发,罗朝晖,等.指示娘子关泉群水动力环境的水化学—同位素信息分析[J].水文地质工程地质,1997,24(3):1 - 5.
Wang Y X,Sun L F,Luo Z H,et al. Analysis of hydrochemical-isotope information indicating hydrodynamic environment of Niangziguan Spring Group[J].Hydrogeology and Engineering Geology, 1997,24(3):1 - 5.

[21] 王增银,刘娟,崔银祥,等.延河泉岩溶水系统 Sr/Mg、Sr/Ca 分布特征及其应用[J].水文地质工程地质,2003(2):15 - 19.
Wang Z Y,Liu J,Cui Y X,et al.Distribution characteristics of Sr/Mg、Sr/Ca and applications in Yanhe spring karst water system [J].Hydrogeology and Engineering Geology,2003(2):15 - 19.

A study of chemical characteristics and water-rock interaction of karstic geothermal reservoir in Wuhan city circle

NIU Jun-Qiang[1], FAN Wei[1], GUO Kun[1,2]

(1.*Geological Environmental Center of Hubei Province*,*Wuhan* 430034,*China*; 2.*China University of Geosciences*,*School of Environmental Studies*,*Wuhan* 430074,*China*)

Abstract: Based on the geothermal water hydrochemical data of karst geothermal fields of Wuhan urban agglomeration, the authors summarized the hydrochemical type of karst hot mineral water, analyzed the variation characteristics of main components of karst hot mineral water with temperature, studied the relationship between the degree and time of water-rock action, and analyzed the hydrochemical processes of the main ions in hot water. The results show that the content of main components in hot water is controlled by temperature and water-rock interaction process, the total dissolved solids content increases with the increase of water-rock action time. As the total dissolved solids content increases, the water-rock interaction was gradually transformed from carbonate dissolution to sulfate dissolution, at high total dissolved solids, the dissolution of salt rocks is enhanced. the Langkou geothermal field, the Wuhongshan geothermal field and the Shewushan geothermal field belong to the same water flow system, the Tangchi geothermal field and the Makou geothermal well belong to the same water flow system, and other geothermal fields belong to separated water flow systems.

Key words: karstic geothermal reservoir;chemical characteristics;water-rock interaction;Wuhan city circle

(本文编辑:蒋实)