

二氧化硅和锶的地球化学迁移影响因素研究

孙逊, 高志华, 李路华 (石家庄经济学院工程学院, 河北石家庄 050031)

摘要 [目的] 研究在表生地球化学环境下, 有益组份二氧化硅和锶在地下水中形成及迁移的影响因素。[方法] 通过研究盘山地区含水介质的矿物成分、表生地球化学作用、造岩矿物的风化程度和水交替强度, 研究了二氧化硅和锶的地球化学迁移的影响因素。[结果] 微量元素锶在风化石英二长岩中的平均含量为 0.075%, 在原岩中为 0.076%。该区流量大于 20 m³/h 的井均位于岩脉两侧或接触带上, 年均降雨量 677.1 mm。半风化岩石的有益组份溶出量最高, 新鲜岩石次之, 全风化岩石溶出量最少。二氧化硅和锶的溶出受水动力条件影响较大。[结论] 盘山地区二氧化硅和锶的地球化学迁移与含水层介质的岩性、表生地球化学作用的发生、造岩矿物的风化程度及地下水交替强度关系密切。

关键词 二氧化硅; 锶; 迁移; 影响

中图分类号 P342.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2008)08-03346-02

Study on the Factors Influencing Geochemical Migration of Silicon Dioxide and Strontium

SUN Xun et al (College of Engineering, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031)

Abstract [Objective] The purpose was to study the factors influencing the formation and migration of beneficial components such as silicon dioxide and strontium in underground water under hypergenic geochemistry environment. [Method] The factors influencing geochemical migration of dioxide silicon and strontium were studied through studying the mineral composition of aquifer medium, hypergenic geochemistry process, weathering degree of rock-forming mineral and water-exchange intensity in Panshan area. [Result] The average content of microelement strontium was 0.075% in weathered adamellite and 0.076% in original rock. In this area, the wells whose fluxes were bigger than 20 m³/h all located in both the sides or contact zone of dyke and the annual average rainfall was 677.1 mm. The dissolved amount of beneficial components from semi-weathering rock was highest, that from fresh rock was secondary and that from thoroughly weathered rock was least. The dissolution of dioxide silicon and strontium was more influenced by hydrodynamic condition. [Conclusion] The geochemical migration of dioxide silicon and strontium in Panshan area closely related to the lithology of aquifer medium, occurrence of hypergenic geochemistry process, weathering degree of rock-forming mineral and exchange intensity of underground water.

Key words Silicon dioxide; Strontium; Migration; Influence

当环境发生物理化学条件变化, 使元素原来的存在形式变成不稳定时, 为了达到新的平衡, 元素原来的存在形式自动解体, 而结合成一种新的相对稳定的方式存在。当元素发生结合状态变化并伴随有元素的空间位移时称元素发生了地球化学迁移^[1]。研究地球化学迁移对地球化学环境等具有重要的意义。为此, 笔者以盘山花岗岩为研究对象, 研究了在表生地球化学环境下, 有益组份二氧化硅(SiO₂)和锶(Sr)的地下水形成及迁移影响因素。

1 区域概况

盘山位于天津市北部蓟县城西约 5 km 处, 属于京、津、唐三角地带的燕山南麓。境内津蓟、京秦和大秦铁路与津、京哈公路交错通过, 交通十分便利。境内地形为北高南低。最高峰标高 1 075 m, 山前一带标高 50 m 左右。该区属于大陆性季风气候, 四季分明, 多年平均降水量 577.1 mm, 多集中在 7、8、9 月份, 多年平均蒸发量 1 819.5 mm, 多年平均气温 11.7 ℃。盘山花岗岩体分布面积约 70 km², 北部裸露地表, 南部被松散层覆盖, 盖层为坡积、冲积物, 以黏土、粗砂为主, 厚度 10~60 m。

盘山花岗岩体分 4 期侵入于蓟县系雾迷山组地层中, 构成背斜核部, 其中以第 3 期含斑石英二长岩为主, 约占 80%, 岩体与围岩接触, 热蚀明显, 接触带宽 500~1 000 m。

2 含水介质的矿物成分——高含量的母岩 盘山含斑石英二长岩, 富含条纹长石和斜长石且晶体较大, 岩石中 K、Na、Ca、SiO₂、Sr 等元素含量丰富, 为矿泉水形成提供了物质基础。盘山的斑石英二长岩及风化产物中主要元素含量列于表 1。与我国石英二长岩和花岗岩对比可以看出, 盘山岩

体斑石英二长岩富含 K₂O、Na₂O、SiO₂。微量元素锶, 在风化石英二长岩中平均含量为 757.5 mg/kg, 在原岩中为 760 mg/kg, 约高出酸性岩含量的 2.5 倍。显然, 盘山花岗岩中高含量的 SiO₂ 和 Sr 为地下水中 SiO₂ 和 Sr 的存在提供了物质基础。

表 1 盘山石英二长岩主要元素的氧化物含量
Table 1 Oxide content in major elements of quartz monzonite of Panshan %

岩石 Rock	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Al/Si
新鲜 Fresh	66.32	15.60	2.91	1.46	3.89	4.21	0.235
风化 Weathering	66.90	16.37	2.25	0.20	3.98	4.00	0.245

盘山裂隙水中微量组份的含量与盘山花岗岩岩石中微量组份的含量具有相关性。为证实这种性质, 进一步对岩石溶解试验数据进行相关分析, 得出常量元素 Ca²⁺与 SiO₂ 和 Sr²⁺的相关性最好, 由此推论, 钙长石、钠长石是盘山裂隙水中有益组份的主要物质基础^[2]。

3 表生地球化学作用

3.1 盘山地区表生条件 盘山花岗岩体风化裂隙和构造裂隙发育, 后期岩脉多沿 NNW 向构造裂隙侵入。岩脉两侧裂隙发育, 岩体与围岩接触带裂隙发育, 是地下水的主要赋存空间。风化裂隙含水性差但较均匀, 而构造裂隙含水性好但不均匀性明显。该区流量大于 20 m³/h 的井均位于岩脉两侧或接触带上。微孔隙水和微裂隙水积极参与长石等矿物的溶滤溶解作用, 使地下水中偏硅酸(H₂SiO₃)和 Sr 等有益元素富集, 形成含 Sr 型、H₂SiO₃ 型矿泉水。该区年均降雨量 677.1 mm, 是花岗岩裂隙水的补给源。晶间孔隙、微裂隙、风化裂隙和构造裂隙为裂隙水赋存空间。裂隙水由微孔隙、微裂隙向构造裂隙汇集, 沿构造裂隙流动, 其水化学性质不断变化。

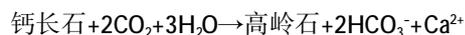
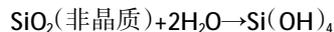
作者简介 孙逊(1962-), 女, 山东烟台人, 工程师, 从事水文与水资源科学方向研究, E-mail: sunxun@sjzue.edu.cn。

收稿日期 2008-02-18

3.2 表生条件下地球化学作用 表生环境是一个在太阳能和重力能作用下的多组份动力学体系。盘山硅酸岩与水接触时,热力学上是不稳定的,表生地球化学作用能否自发进行,要用反应自由能变化量进行判断。依据自由能降低原则,当自由能变化量大于零时反应向左进行,等于零时反应平衡,小于零时才能自发发生不全等溶解作用。

结晶岩含有大量石英和铝硅酸盐矿物,如长石、云母、角闪石等,这些高温高压条件下所形成的矿物,在地表环境下与水相互作用,如溶解、水解、水化等,使矿物组份发生变化。含 CO_2 淡水同铝硅酸岩相互作用,结果 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SiO_2 等进入溶液,同时水的 pH 值增高。

铝硅酸岩的不全等溶解与水中 CO_2 含量关系密切, CO_2 的存在可增大 H^+ 浓度并促进水解作用。地下水中 CO_2 主要来自于大气及土壤^[9]。在开放体系中水-石英二长岩能自发发生作用的水解反应式如下:



Sr 在岩石圈上部是丰度较大的一个微量元素,在内生作用过程中绝大部分 Sr 分散在造岩矿物中。盘山花岗岩中

Sr 主要分布在斜长石和钾长石中,伴随着 Ca^{2+} 从富钙、富钾的岩石中被释放出来。Sr 在地下水以 Sr^{2+} 形式存在。但 Ca^{2+} 达到饱和时发生沉淀, Sr^{2+} 置换 Ca^{2+} 发生共沉淀,使溶解到水中的一部分 Sr^{2+} 又发生沉淀^[4]。

4 造岩矿物的风化程度

盘山花岗岩新鲜含斑石英二长岩结构致密,断面切断矿物晶体显得平直,矿物晶形不明显。半风化含斑石英二长岩结构较疏松,易破碎,断面多见矿物晶面,矿物晶形明显并凹凸不平,沿暗色矿物晶面有铁锈。全风化含斑石英二长岩结构极疏松,碎块以长石晶体为主,暗色矿物明显减少,长石遭到强烈风化,晶面呈灰白色。岩石风化程度不同,其结构和矿物成分明显不同,在其他条件相同时,水岩作用结果也不相同^[9]。

通过室内试验研究得出:具有半风化性质的岩石有益组份溶出量最高,新鲜岩石次之,全风化岩石最少。全风化岩石经受长期淋滤作用,可溶组份大部分流失,同时在长石表面普遍形成氧化铝(Al_2O_3)保护层,有阻止溶解的作用,所以在试验中溶质溶出最少。新鲜岩石保留了原始的矿物成分,易溶组份含量高,故试验中溶质溶出量较风化岩石多。半风化岩石矿物成分损失不大,易溶组份含量仍较高,但与新鲜岩石相比它具有较疏松的岩石结构,使水与矿物接触面积增大,故试验中溶质溶出量最多。

表 2 盘山花岗岩裂隙水组份

Table 2 Component of granite fissure water of Panshan

mg/L

井号 Well number	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	H_2SiO_3	Sr^{2+}	矿化度 Salinity	裂隙水类型 Fissure water type
15	1.05	18.57	15.87	3.82	14.10	11.20	107.20	-	-	174.94	风化裂隙水 Weathering fissure water
24	-	13.75	24.04	5.63	11.65	7.40	76.20	42.30	-	147.01	风化裂隙水 Weathering fissure water
B12	3.87	170.20	3.90	1.89	65.30	106.00	198.00	69.20	0.65	294.90	构造裂隙水 Structural fissure water
L1	3.17	15.56	26.50	18.00	10.05	12.90	163.80	40.01	0.36	294.90	构造裂隙水 Structural fissure water
B18	1.80	40.89	44.90	9.00	35.50	64.40	103.00	41.10	0.58	373.30	构造裂隙水 Structural fissure water

5 水交替强度

盘山地区水资料分析结果见表 2。由表 2 可知,15 号井是风化裂隙水,其矿化度低,元素含量少。B12 号井是断裂构造裂隙水,矿化度较高,有益组份含量高。这说明地下水交替强度越大,水岩作用时间越长,地下水中离子成分及微量组份含量越高。室内试验也可得出该结论。设置 2 种水动力条件,一是流速为零的静态浸泡,二是流速为 2.946 m/d 的动态淋滤进行试验。结果表明,盘山半风化岩石中,当作用时间达到 25 d 时,淋滤溶液中 SiO_2 含量为 4.26 mg/L,而浸泡溶液中 SiO_2 的含量为 2.86 mg/L。同样, Sr^{2+} 溶出量与水动力条件关系也较密切。第 25 天时,半风化岩石中淋滤溶液中 Sr^{2+} 含量为 0.21 mg/L,而浸泡溶液中的 Sr^{2+} 含量为 0.1 mg/L。因此认为, SiO_2 和 Sr^{2+} 的溶出受水动力条件影响程度较大。

6 结论

(1)母岩的矿物成分是形成 H_2SiO_3 型、Sr 型地下水的

基础。

(2)表生条件下能发生不全等溶解是 H_2SiO_3 和 Sr 在地下水中迁移的条件。盘山地区主要存在非晶质 SiO_2 水解反应及钙长石、钠长石的水解反应。

(3)岩石的风化程度决定 H_2SiO_3 和 Sr 在地下水中的含量。

(4)水动力条件影响 H_2SiO_3 和 Sr 的溶解速度。

参考文献

- [1] HAN Y W, MA Z D. Geochemical[M]. Beijing: Geology Press, 2003: 93-95.
- [2] ZHANG W, WANG Z Y, SUN X. Crevice water in the Panshan granite[J]. Geological Review, 1996, 42(1): 87-92.
- [3] SHEMG Z L, ZHU W H. Hydrogeochemistry [M]. Beijing: Geology Press, 1993.
- [4] 刘庆宣, 王贵玲, 张发旺. 矿泉水中微量元素锶富集的地球化学环境[J]. 水文地质工程地质, 2004(6): 105-108.
- [5] 孙逊, 张伟, 王作友, 等. 盘山矿泉水形成机理的实验研究[J]. 地质找矿论丛, 1995, 10(1): 85-93.