

盘山花岗岩裂隙水研究

张伟

(河北地质学院, 石家庄)

王作友

(天津蓟县水资源研究所)

孙逊

(河北地质学院, 石家庄)

内容提要 盘山花岗岩裂隙水起源于大气降水, 赋存于各种成因的裂隙中, 裂隙水年龄从小于4a到接近40a, 差异较大。裂隙水中常量元素和微量元素主要来源于长石类矿物的水解, 特别是钙长石的水解, 其中 SiO_2 和Sr在裂隙水中含量较高, 已达到饮用矿泉水标准。裂隙水可开采资源量多年平均为1291.56万 m^3/a , 富水规律明显。

关键词 裂隙水 长石水解 水均衡 可开采资源量

盘山花岗岩体位于天津市蓟县城西约5km, 分布面积约70 km^2 。北部为中低山地貌, 地面标高100—800m, 地形较陡, 是著名的风景旅游区; 南部为丘陵河谷地貌, 地面标高50—100m, 分布近20个村庄, 常住人口近万人。盘山地区是天津市贫水区之一, 随着旅游业的发展, 该区水资源紧缺状况日趋严重, 表现在两方面, 一是单井强裂超采, 造成一些井间断运行或低负荷运行, 能源浪费严重; 二是在贫水区风险布井, 成井率低损失严重。本文旨在系统地分析已有的调查、钻探及实验等成果, 深入探讨盘山花岗岩裂隙水的形成条件及赋存规律, 分析裂隙水化学特征, 在此基础上提出合理开发裂隙水资源的措施。

1 盘山花岗岩裂隙水的形成及赋存条件

盘山花岗岩体侵位于中晚元古代地层中, 四周被围岩蚀变带所隔, 与外围地下水交换十分微弱, 仅在浅部通过风化裂隙层或松散堆积层与外界进行水量交换, 构成一个相对独立的水文地质单元。

本区多年平均降水量为677.1 mm/a , 是单元内裂隙水的主要补给来源, 据对裂隙水动态观测, 水位高峰时间与降水丰水期对应, 出现在每年8—9月, 说明降水能直接、迅速补给裂隙水。

盘山花岗岩裂隙水在水平方向和垂直方向均具有非均匀性。浅部花岗岩赋存风化裂隙水, 降水直接补给, 水位埋藏浅, 含水层厚度小(10—60m), 透水性差, 单位出水量 $<0.1\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ 。深部花岗岩赋存构造裂隙水, 其富水性取决于构造裂隙发育程度, 在裂隙发育带上富水性好(30—80 m^3/h), 而非裂隙带上富水性差($<5\text{m}^3/\text{h}$)。据地面调查和井孔抽水资料, 由岩体中部向边缘, 构造裂隙发育程度由弱变强, 富水性由差变好。如岩体中部玉石庄一带, 成井率不足40%, 单井出水量10—30 m^3/h ; 而岩体西南部边缘的水泉村一带, 基性岩脉沿早期北东向裂隙侵入, 次生裂隙发育, 成井率 $>70\%$, 单井出水量50—80 m^3/h ; 位于两地之间的桃庄一带, 单井

出水量 30—60m³/h。

构造裂隙水水位普遍较风化裂隙水水位低 2—6m, 仅在接触带滞流排泄区(夏各庄一带)两个水位接近, 表明风化裂隙水下渗补给构造裂隙水。构造裂隙水经微裂隙向构造裂隙网络运移, 水循环周期长, 据同位素资料, 构造裂隙水氡浓度为 12.62—35.19TU, 估算年龄 11.4—36.61a。

盘山花岗岩构造裂隙水分布规律如下: (1) 通过岩体南部的蓟县山前断裂带上富水; (2) 瀑水至夏各庄沿构造接触带上富水; (3) 岩体内基性岩脉两侧富水; (4) NE45°—65°和 NW310°—340°两组区域构造裂隙带上相对富水。

2 盘山花岗岩裂隙水水化学特征

2.1 水化学类型

风化裂隙水矿化度较低, 一般 <200mg/L, 水温 11—13℃, pH 值 6.8—7.9, 中性; 水化学类型单一, HCO₃-CaNa 型或 HCO₃-NaCa 型。

构造裂隙水矿化度 290—540mg/L, 平均 410mg/L, 水温 17℃, 个别达 26℃, pH 值 7.04—8.66, 中性偏碱; 水化学类型较复杂, 有 HCO₃-CaMg 型、HCO₃·SO₄-CaNa 型和 HCO₃·SO₄-Na 型。

2.2 裂隙水中主要阳离子类型及其成因

盘山花岗岩裂隙水中阳离子以 K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 为主, 其来源无疑是花岗岩中铝硅酸盐矿物的溶滤或水解。盘山花岗岩中条纹长石含量为 15%—45%, 斜长石含量 25%—50%。条纹长石中钾长石含量最高(59%)、钠长石次之(33%)、钙长石最低(8%), K, Na, Ca 元素的氧化物含量分别为 9.88%、3.62%和 0.79%; 斜长石中钠长石含量最高(58.3%)、钙长石次之(35.1%)、钾长石最低(6.6%), Na, Ca, K 元素的氧化物含量分别为 7.56%、4.12%和 1.30%^①。可见元素 K, Na 和 Ca 主要存在于长石中, 而 Mg 主要存在于暗色矿物中。盘山花岗岩元素的平均氧化物含量关系为 Na₂O>K₂O>CaO>MgO。但是裂隙水中元素含量顺序为 Ca²⁺>Na⁺>Mg²⁺>K⁺, 两者含量关系明显不一致, 其原因可能与长石类水解作用程度不同有关。

根据热力学原理和实际水质分析数据, 计算和判断盘山地区表生条件下各种长石水解作用的方向, 结果是: 钾长石水解生成水白云母、SiO₂ 和 K⁺, 钙长石水解生成高岭石和 Ca²⁺, 两个反应可自发进行, 而钠长石水解反应不能自发。

花岗岩溶解实验结果有助于上述理论解释, 如粉末状岩样用水浸泡后, 溶液中 Na⁺ 最多(平均含量 35.5×10⁻⁶), K⁺ 和 Ca²⁺ 较少(平均含量分别为 9.2×10⁻⁶和 9.6×10⁻⁶), 与岩石中元素含量关系一致; 而碎块状岩样用水浸泡或淋滤后, 溶液中 Ca²⁺ 最多, (平均含量 13.9×10⁻⁶), Na⁺ 和 K⁺ 较少(平均含量分别为 0.56×10⁻⁶和 0.95×10⁻⁶), 与实际水质相似。

2.3 裂隙水环境同位素特征

盘山花岗岩构造裂隙水、围岩岩溶裂隙水及当地雨水稳定同位素组成见表 1, 均贴近北京地区雨水线^[1], 证明花岗岩构造裂隙水包括深循环水均为大气降水成因。据估算, L₃ 水样补给高程为 154m, 补给区在莲花岭一带, B₁₂ 水样补给高程为 642m, 补给区在联合村以北的花岗岩

① 王玉富. 蓟县盘山花岗岩主体的特征及成因. 天津地质学会志, 1989, (3): 14—21.

分布区。

表 1 盘山地区环境稳定同位素组成(‰)

Table 1 The stable isotope composition(‰) of water in the Panshan region

样 号	L ₃	B ₁₂	泉 ₁	北 ₁	雨 ₁	雨 ₂
采样点	水泉村	大孙各庄	公乐亭泉	县啤酒厂	罗庄子	下 营
水环境	花岗岩裂隙水,17℃	花岗岩裂隙水,26℃	岩溶水	岩溶水	雨水,高程 100m	雨水,高程 200m
δ ¹⁸ O	-8.19	-9.90	-8.84	-8.34	-8.00	-8.60
δD	-53.6	-74.0	-57.8	-61.7	-53.0	-54.8

测试单位:地质矿产部水文地质工程地质研究所

风化裂隙水、构造裂隙水、接触带裂隙水和断裂带裂隙水的埋藏条件不同,参与水循环的过程也不同,放射性同位素氡年龄估算结果(表 2)表明:(1)风化裂隙水以当年降水补给为主,水循环交替迅速,裂隙水年龄小于 4a;(2)构造裂隙水接受风化裂隙水下渗补给,水循环速度缓慢,裂隙水年龄 10—20a;(3)受蚀变围岩阻水影响,接触带水循环交替条件较差,裂隙水滞流时间较长,其年龄大于 20a;(4)断裂带裂隙水参与深循环,其年龄接近 40a。

表 2 盘山花岗岩裂隙水同位素年龄

Table 2 The isotope age of fissure water in the Panshan granite

样 号	24	B ₁₂	L ₃	B ₁₉
氡浓度(TU)	54.97	1.09	35.19	26.23
估算年龄(a)	3.5	39.2	11.4	23.7
地下水类型	风化裂隙水	断裂带裂隙水	构造裂隙水	接触带裂隙水

测试单位:地质矿产部水文地质工程地质研究所

2.4 裂隙水中有益组分及成因分析

盘山花岗岩主体是石英二长岩,含有大量 SiO₂ 和多种微量元素,主要有 Ba,Mn,Sr,F,Zr,V,Zn,Cr,Li 和 Se 等,因此裂隙水中也含有 SiO₂ 和多种微量元素,其中一些元素的含量达到饮用矿泉水标准。岩石及裂隙水中微量元素含量参见表 3。

表 3 盘山花岗岩及裂隙水中微量元素含量

Table 3 The content of trace element in the Panshan granite and its fissure water

元 素	Ba	Mn	Sr	F	Zr	V	Zn	Cr(VI)	Li	Se
岩石 (×10 ⁻⁶)	2230	815	627 ^①	600 ^①	155	45.25	24.45	22.35	21.62 ^①	0.30 ^①
裂隙水 (mg/L)	0.038— 0.079	0.002— 0.156	0.15— 0.72	0.32— 2.26	—	<0.007	0.001— 0.044	<0.004	0.011— 0.52	0.00024— 0.0043

①河北地质学院测试,其它岩样数据引自王玉富(1989);水样由中国预防医学科学院测试。

盘山花岗岩富含 SiO₂(平均 65.81%),但裂隙水中可溶性 SiO₂ 的含量只有 15—53mg/L

(饮用矿泉水标准为 19mg/L), 含量较低的原因是岩石中 SiO_2 多以石英或铝硅酸盐的形式存在, 表生条件下溶解性差, 只有非晶质石英水化反应和钾长石、钙长石水解反应能够生成少量可溶性 SiO_2 。

岩石中 Sr 平均含量只有 627×10^{-6} , 但裂隙水中 Sr^{2+} 含量达 0.15—0.72mg/L, 多数达到饮用矿泉水标准。火成岩中 Sr 不形成独立矿物, 而以类质同象进入各种富含 Ca 或 K 的矿物中, 如斜长石、钾长石等, 当长石水解时, 部分 Sr 以离子态溶于裂隙水中, 部分 Sr 残留在风化产物(粘土矿物)中。

一般认为花岗岩中 F 含量较高, 其含量变化为 520×10^{-6} — 4550×10^{-6} , 平均为 1332×10^{-6} 。花岗岩中 F 作为矿化剂与一些稀有金属或稀碱元素组成可溶解的络合物或化合物, 分散在造岩矿物及副矿物中, 如云母、角闪石等, 在表生风化作用下, F 易溶于裂隙水中。盘山花岗岩 F 含量为 600×10^{-6} , 明显偏低, 裂隙水中 F^- 含量为 0.32—2.26mg/L, 较适合人类饮用。

有些微量元素如 Zn, Li, Se 等, 在盘山花岗岩中含量很低, 因此在裂隙水中也十分贫乏, 只有在特殊条件下才可能富集, 如断裂带深循环热水中 Li 含量达 0.52mg/L。还有一些微量元素如 Ba, Mn 等, 在岩石中含量较 Sr 高, 但裂隙水中含量很低, 可能与它们的存在形态有关。

2.5 裂隙水中主要阳离子与 SiO_2 和 Sr^{2+} 的相关分析

构造裂隙水中阳离子与有益组分的相关分析发现, SiO_2 和 Sr^{2+} 均与 Ca^{2+} 有相关性。为证实这种性质, 进一步用岩石溶解实验数据^[2](样本数为 30)做相关分析, 结果见表 4 和图 1。

表 4 盘山花岗岩裂隙水中常量元素与 SiO_2 和 Sr 相关分析结果

Table 4 The results of the relative analyse for major element with SiO_2 and Sr

y	x	相关方程	相关系数
K	SiO_2	$y = 0.139 + 0.216x$	0.4630
	Sr	$y = 0.086 + 7.218x$	0.5654
Na	SiO_2	$y = 0.293 + 0.126x$	0.3612
	Sr	$y = 0.128 + 5.547x$	0.5821
Ca	SiO_2	$y = -19.667 + 10.753x$	0.6073
	Sr	$y = -10.5 + 250.0x$	0.7604
Mg	SiO_2	$y = 1.779 + 0.352x$	0.3915
	Sr	$y = 1.548 + 13.235x$	0.5366

相关分析结果表明, 常量元素 Ca^{2+} 与 SiO_2 和 Sr^{2+} 的相关性最好, 由此推论, 钙长石是裂隙水中 SiO_2 和 Sr^{2+} 的主要物质来源, 而钙长石水解是生成裂隙水中 SiO_2 和 Sr^{2+} 的主要作用。

3 盘山花岗岩裂隙水资源开发与管理

盘山花岗岩体构成一个相对独立的水文地质单元, 应用水均衡法和数值模拟法评价裂隙水资源, 结果为, 多年平均补给量 1291.56 万 m^3/a , 多年平均开采量 536.30 万 m^3/a ^①。

① 王作友等. 盘山矿泉水形成机理、赋存规律及开发利用研究报告. 1993.

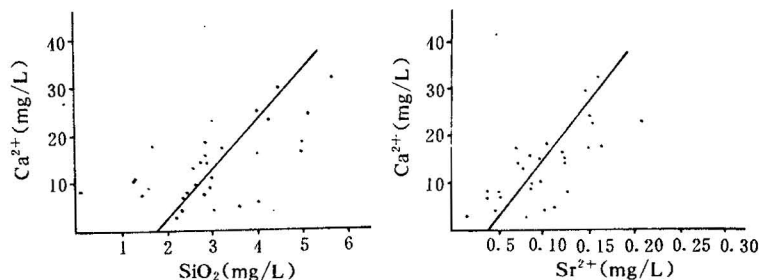


图 1 盘山花岗岩裂隙水中元素相关图

Fig. 1 The element relation of fissure water in the Panshan granite

岩体中部贫水区裂隙水开发与管理 管房、玉石庄一带位于盘山岩体中部,裂隙水资源贫乏,单井水量一般小于 $20\text{m}^3/\text{h}$,而水位降深一般大于 60m 。随着旅游业的发展,水资源供需矛盾更加突出,从 1992 年至 1994 年,先后施工 8 眼深井(井深大于 100m),以单井出水量大于 $10\text{m}^3/\text{h}$ 统计,成井率不足 40% ,损失较大。

在贫水区开发裂隙水资源关键在于如何用综合物探方法查清构造裂隙的分布规律,其次是合理设计井位、井深和井距,同时人们也应当正视贫水区的客观条件,或采取需水总量控制措施或采取远距离输水措施解决水资源供需矛盾。

在开发贫水区裂隙水资源的同时,也要加强水资源保护,据调查资料,该区浅层风化裂隙水已受到不同程度污染,普遍检出 NO_2^- ,其最高含量达 0.01mg/L ,远远超过饮用水标准,对构造裂隙水构成严重威胁。

岩体西南部相对富水区裂隙水开发与管理 岩体西南部发育断裂、接触带和基性岩脉等构造,原生构造裂隙和次生构造裂隙十分发育,是盘山岩体相对富水区,已成井 10 眼,成井率大于 70% ,单井出水量 $50\text{--}80\text{m}^3/\text{h}$ 。该区地下水开采历史较长,据动态资料分析,未出现区域水位下降趋势。

该区开采裂隙水资源应当注意井孔间水力干扰和开采强度。以往个别井孔间距只有 30 多米,相互间水力干扰大,影响井的使用效率;也有一些井配套大流量抽水设备,使单井开采强度过大,出现水位大降深甚至间断开采等不良现象,造成能源浪费。根据抽水试验和多年开采动态分析,该区井孔间距应大于 200m 。

4 结论

(1) 盘山花岗岩裂隙水赋存于风化裂隙含水层和构造裂隙含水层。构造裂隙水分布极不均匀,主要在活动断裂带、构造接触带、基性岩脉两侧和区域构造裂隙网络上富水。

(2) 构造裂隙水平平均矿化度 410mg/L ,水化学类型较风化裂隙水复杂,有 $\text{HCO}_3\text{--CaMg}$ 型、 $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--CaNa}$ 型和 $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Na}$ 型。

(3) 热力学计算和实验结果均证明,长石水解,特别是钙长石水解,不仅对裂隙水中阳离子含量起重要作用,而且决定着裂隙水中可溶性 SiO_2 和 Sr^{2+} 的含量。

(4) 盘山花岗岩裂隙水起源于大气降水,但由于赋存条件不同,地下水年龄各异,风化裂隙水小于 4a,构造裂隙水 10—20a,接触带裂隙水大于 20a,断裂带裂隙水接近 40a。

(5) 盘山花岗岩裂隙水可开采资源量为 1291.56 万 m^3/a ,已开发利用量 536.30 万 m^3/a ,有增加开采量的潜力。岩体中部贫水区地下水开发难度大,水环境污染严重,水资源供需矛盾突出;岩体西南部富水区有增大开采量的潜力和保证,但应保持合理井距和开采强度。

参 考 文 献

- 1 张伟,王作友.盘山花岗岩裂隙水和地热水环境同位素研究.见:王东升,徐乃安主编.中国同位素水文地质学之进展.天津大学出版社,1993.68—73页.
- 2 孙逊,张伟,王作友,马林.盘山矿泉水形成机理的实验研究.地质找矿论丛,1995,(1):85—92.

CREVICE WATER IN THE PANSHAN GRANITE

Zhang Wei

(Hebei College of Geology, Shijiazhuang, Hebei)

Wang Zuoyou

(Research Institute of Water Resources, Jixian, Tianjin)

Sun Xun

(Hebei College of Geology, Shijiazhuang, Hebei)

Abstract

Crevice water in the Panshan granite originates from meteoric water. It occurs in fissures of various origins. The age of crevice water is very different, varying from less than 4 years old to about 40 years old. The common elements and trace elements in crevice water are mainly derived from hydrolysis of feldspars, especially anorthite. The contents of SiO_2 and Sr in crevice water are relatively high and have met the standards of drinking mineral water. The amount of minable crevice water resources is 12.9156 million m^3/a on average. The regularity of crevice water yield is clear.

Key words: crevice water, hydrolysis of feldspars, water-balance, the amount of minable crevice water resources

作 者 简 介

张伟,男,生于1958年。1982年毕业于河北地质学院水文地质工程地质系,1990年获中国地质大学水文地质硕士学位。现任河北地质学院水工系讲师。通讯处:河北石家庄河北地质学院水工系,邮政编码:050031。