

地下水中微量组份 H_2SiO_3 富集的地质地球化学环境

刘庆宣 王贵玲 张发旺

中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061

摘要 通过对全国 325 处富含偏硅酸地下水点的化学测试数据、所处的地球化学环境、地质背景的分析,阐述了微量组份 H_2SiO_3 的富集特征与含水介质岩性的关系,以及富含 H_2SiO_3 地下水的地球化学特征。认为富含 H_2SiO_3 地下水的形成与不同含水介质岩性和 SiO_2 平均丰度等地球化学环境密切相关。地下水中 H_2SiO_3 富集的最有利地质环境是中酸性侵入岩地层,其次是区域变质岩、喷出岩、碎屑岩。研究表明,地下水中的 H_2SiO_3 含量与水化学类型和 pH 值相关,推断出 HCO_3-Ca 、 $HCO_3-Ca \cdot Na$ 型水和碱性、酸性水都有利于 H_2SiO_3 的富集。

关键词 地下水 微量组份 H_2SiO_3 地球化学环境

Geological-Geochemical Environment for the Enrichment of Trace Component H_2SiO_3 in Groundwater

LIU Qingxuan WANG Guiling ZHANG Fawang

Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang, Hebei, 050061

Abstract Based on an analysis of chemical data of 325 H_2SiO_3 -rich groundwater samples as well as their geochemical environments and geological settings, the authors studied the relationship between the enrichment of H_2SiO_3 in groundwater and the properties of the aquifer media and investigated geochemical characteristics of such groundwater. The results show that the formation of H_2SiO_3 -enriched groundwater is closely related to such geochemical environmental factors as aquifer media and average SiO_2 abundance. The most favorable geological environment for the enrichment of H_2SiO_3 in groundwater is intermediate-acid intrusive rocks, followed by regional metamorphic rocks, eruptive rocks and clastic rocks. It is also revealed that the H_2SiO_3 concentration in the groundwater is related to water types and pH values. HCO_3-Ca type, $HCO_3-Ca \cdot Na$ type, alkaline type and acid groundwaters are favorable to the enrichment of H_2SiO_3 .

Key words groundwater trace component H_2SiO_3 geochemical environment

硅是地壳中分布最广的元素之一,地壳物质的一半以上是由硅质化合物组成的,其中最普遍的是二氧化硅和硅酸盐,含硅岩石经过直接溶解、风化等途径进入地下水中。地下水中的二氧化硅通常以硅酸和偏硅酸的形式存在,其含量除主要取决于围岩的岩性外,还与断裂构造以及地下水的 pH 值、水温、压力和水交替速度等因素有关。

中国地下水中普遍含有微量组份 H_2SiO_3 ,但多数含量在 20 mg/L 以下。本文仅讨论 H_2SiO_3 含量大于 25 mg/L 的矿泉水点(同时富含微量元素锶的矿泉水点除外),试图通过更深入地研究富含 H_2SiO_3 的矿泉水点的富集特征,为今后寻找富含

H_2SiO_3 的矿泉水点提供一些参考依据。本文所研究的偏硅酸含量大于 25 mg/L 的水点共 325 处,其中 H_2SiO_3 大于 50 mg/L 的水点有 122 处, H_2SiO_3 含量的 25~50 mg/L 的水点 203 处。此类地下水较集中分布于东南沿海地区的广东、福建、湖南、吉林、江西、广西等省区(表 1,本文不涉及热矿水)。

1 地下水中 H_2SiO_3 富集的地质环境

地下水中 H_2SiO_3 的平均含量与含水介质中 SiO_2 平均丰度具有一定的相关关系。中酸性侵入岩、区域变质岩、喷出岩、碎屑岩中 SiO_2 平均丰度高,相应地,其水中 H_2SiO_3 平均含量也高,水点个数

表1 富含 H₂SiO₃ 水点在中国各地分布情况

Table 1 The distribution of H₂SiO₃ enriched groundwater in all parts of China

省名	最大值	最小值	25~50 mg/L	>50 mg/L	水点数 合计/个
			水点/个	水点/个	
北京	44.2	35.1	2	0	2
天津	45.2	45.2	1	0	1
安徽	55.48	32.15	2	1	3
福建	97.5	34.32	10	30	40
广东	120.9	25.3	71	53	124
广西	78	26	3	8	11
贵州	68.9	52	0	2	2
海南	93.6	41.02	1	6	7
河北	46.8	31.2	6	0	6
河南	52	52	0	1	1
黑龙江	62.4	28.6	8	2	10
湖南	119.58	27.12	13	13	26
吉林	88.4	27.76	8	7	15
江苏	37.2	37.2	1	0	1
江西	78	31	6	7	13
辽宁	49.4	32.77	8	0	8
内蒙	73.6	30.5	4	2	6
山东	57.2	37.37	3	2	5
陕西	42.25	25.08	3	0	3
四川	107.7	36.14	2	5	7
云南	62.4	29.84	5	4	9
浙江	78	43.29	2	5	7

也多(表2)。

1.1 H₂SiO₃ 在中酸性侵入岩中的富集特征

中酸性侵入岩(如花岗岩)广泛分布于东南沿海地区深大断裂中,各期次花岗岩中的 SiO₂ 丰度平均达 71.28%,其中以燕山期花岗岩中 SiO₂ 含量最丰,平均为 74%。在广东、福建等地沿巨型花岗岩体均有富含 H₂SiO₃ 成分的热泉和冷泉分布。福建省各期次花岗岩类 SiO₂ 的平均值为 61.67%~73.9%,已发现 H₂SiO₃ 大于 25 mg/L 的水点达 40 处(不

表2 不同含水层中富含 H₂SiO₃ 水点统计与岩石中 SiO₂ 平均丰度

Table 1 The statistics of H₂SiO₃ enriched water sampled in different aquifers and SiO₂ average abundance in rock

含水介质	25~	>50	合计	岩石中	水中
	50 mg/L	mg/L		SiO ₂	H ₂ SiO ₃
	水点/个	水点/个	/个	平均丰度	平均含量
				/%	/mg·L ⁻¹
中酸性侵入岩	88	66	154	71.28	48.79
区域变质岩	50	11	61	64.93	41.58
喷出岩	21	23	44	57.80	40.32
碎屑岩	27	15	42	64.73	46.10
碳酸盐岩	9	3	12	1.0~13	41.29
新生代松散层	8	4	12	—	42.73
合计	196	122	325	—	—

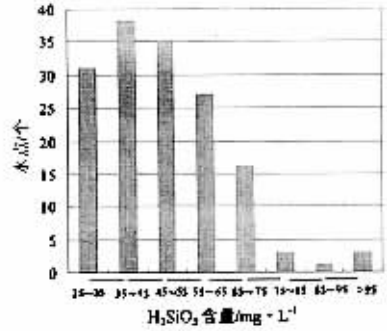


图1 H₂SiO₃ 在中酸性侵入岩中的分布

Fig.1 The distribution of H₂SiO₃(mg/L) in aquifer of the intermediate-acid intrusive rock

含热矿水)。广西的火成岩主要分布在东部地区(湘桂铁路以东),有多期岩浆岩侵入及火山岩喷发,全区 90%富含 H₂SiO₃ 矿泉水(点)分布在这个地带。

在中酸性侵入岩地区地下水中 H₂SiO₃ 大于 25 mg/L 的水点共有 154 处,约占富含偏硅酸水点总数的 47.3%,偏硅酸含量在 25~75 mg/L 之间的水点 147 处,占该类水点总数的 93%(图 1),偏硅酸平均含量为 48.79 mg/L。

1.2 H₂SiO₃ 在变质岩中的富集特征

本次统计的富含 H₂SiO₃ 的水点分布在 61 处变质岩类地层中,其中 53 处水点的 H₂SiO₃ 含量在 25~55 mg/L 之间(图 2),占该类水点总数的 86.9%。赋存的介质主要为片麻岩类和混合岩,这些岩石成分主要是长石、石英、黑云母和角闪石,而长石含量一般大于 25%,长石在一定条件下可水解形成可溶 SiO₂。例如在广西、湖南、四川等地的变质岩地层中均赋存有 H₂SiO₃ 含量大于 100 mg/L 的矿泉水。

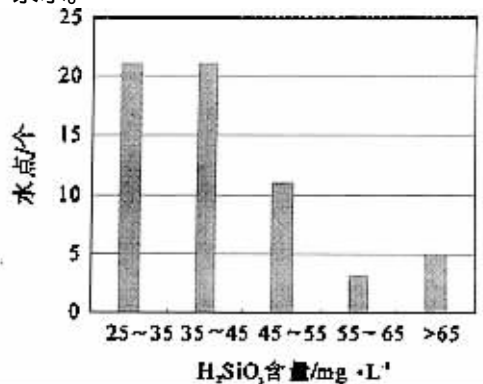


图2 H₂SiO₃ 在变质岩地层中的分布

Fig.2 The distribution of H₂SiO₃ in aquifer of metamorphic rock

1.3 H₂SiO₃ 在喷出岩中的富集特征

中国新生代喷出岩以玄武岩为主,大面积集中出露于黑龙江、吉林、内蒙、河北、山西、山东、江苏、

安徽、云南和广东等地,其分布面积约有 75 000 km^2 ,以吉林省分布面积为最大,达 25 889 km^2 。这些玄武岩以高碱富硅贫铝为特征, SiO_2 的总体含量为 40% ~ 60%,平均为 57.8%,早第三纪—晚第三纪—第四纪所含 SiO_2 平均值呈递减的规律(49.75% ~ 46.67% ~ 46.60%);空间上自东北—华北—华南的 SiO_2 含量则呈递增的特点,如湘东橄榄玄武岩中 SiO_2 丰度为 56.67%,安徽嘉山玄武岩中 SiO_2 丰度为 40% ~ 50%,昆明西山玄武岩中 SiO_2 丰度为 49.01%。由于水解作用的结果产生胶体 SiO_2 和粘土矿物,二者进入溶液并相互作用,地下水中存在的碳酸、腐植酸、硫酸(硫酸盐氧化条件下)是长石分解形成游离 SiO_2 和粘土矿物的主要因素。

目前已发现的出露于中、新生代喷出岩地层中的富含 H_2SiO_3 的水点计 44 处, H_2SiO_3 含量平均为 40.32 mg/L ,其中 36 处水点的 H_2SiO_3 含量介于 25 ~ 65 mg/L 之间(图 3),占该类水点总数的 81.8%。

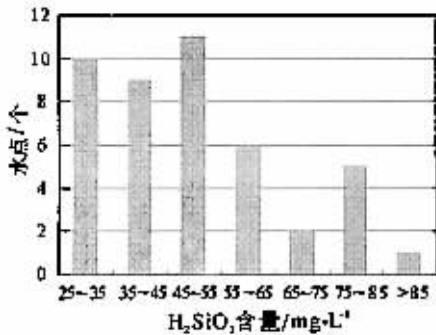


图 3 H_2SiO_3 在喷出岩地层中的分布
Fig. 3 The distribution of H_2SiO_3 in aquifer of extrusive rock

1.4 H_2SiO_3 在碎屑岩中的富集特征

碎屑岩广布的地区亦是富含 H_2SiO_3 水点的重要地区。碎屑岩中 SiO_2 平均丰度为 64.73%,最高可达 80% 以上,如四川重庆地区,砂岩的石英含量为 50% ~ 90%, SiO_2 平均含量达 80% 以上,由于铝硅酸盐的水解作用,使其地下水中 H_2SiO_3 含量普遍较高,目前在该地区已发现多处富含 H_2SiO_3 的矿泉水点。

经统计产自碎屑岩地层中 H_2SiO_3 含量大于 25 mg/L 的典型水点共 42 处, H_2SiO_3 平均含量为 46.10 mg/L ,其中 37 处水点 H_2SiO_3 含量介于 25 ~ 65 mg/L 之间(图 4),占该类水点总数的 88.1%。

不同含水介质赋存的地下水中 H_2SiO_3 含量各不相同,其分布数量与 SiO_2 平均丰度有关。

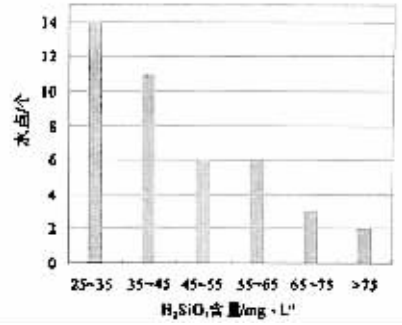


图 4 H_2SiO_3 在碎屑岩地层中的分布
Fig. 4 The distribution of H_2SiO_3 in aquifer of clastic rock

地下水中 H_2SiO_3 含量在 25 ~ 50 mg/L 之间的水点分布数量从多到少的顺序为:中酸性侵入岩、区域变质岩、碎屑岩、喷出岩,而地下水中 H_2SiO_3 含量大于 50 mg/L 的水点分布数量从多到少的顺序略有变化,其顺序为:中酸性侵入岩、区域变质岩、喷出岩、碎屑岩。这些都反映了地下水中 H_2SiO_3 含量及分布数量与地质环境密切相关(图 5)。说明中酸性侵入岩的地质环境最有利于地下水中 H_2SiO_3 的富集,其次是区域变质岩,再次是喷出岩和碎屑岩。

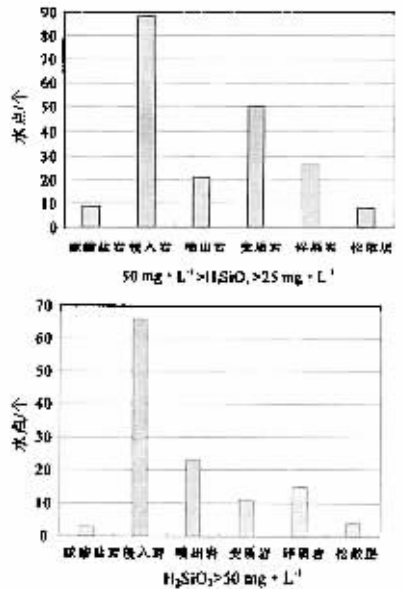


图 5 不同 H_2SiO_3 含量水点与地质环境关系
Fig. 5 Relationship between the content of H_2SiO_3 and lithology

2 富含 H_2SiO_3 地下水的地球化学特征

2.1 富含 H_2SiO_3 地下水的水化学类型特征

据对 263 处(有一部分水点没有水化学类型的资料)富含 H_2SiO_3 地下水点的水化学类型统计,结果显示主要为 HCO_3-Ca (27.6%) 和 $HCO_3-Ca \cdot Na$

(25.5%)型(表3),其次为 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ (19.7%), $\text{HCO}_3\text{-Na}$ (11.8%) 和 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ (11.4%) 型。可见, $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 型水最有利于 H_2SiO_3

的富集。而 $\text{SO}_4\text{-Ca}$ 型水(只有1处,出露于白云岩含水介质中), $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Na}$ 型水(2处)不利于 H_2SiO_3 的富集。

表3 不同水化学类型的 H_2SiO_3 水点与含水介质岩性统计表

Table 3 Relationship between the H_2SiO_3 groundwater of different water types and aquifer medium

水质类型	碳酸盐岩 /个	中酸性侵入岩 /个	喷出岩/个	变质岩/个	碎屑岩/个	松散层 /个	水点数/个	偏硅酸平均含量 /mg·L ⁻¹
$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	5	23	6	15	13	4	66	45.50
$\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$	1	36	8	7	8	1	61	53.73
$\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$	1	34	3	2	4	3	47	53.64
$\text{HCO}_3\text{-Na}$	—	20	2	1	6	2	31	53.31
$\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$	5	3	4	7	8	3	30	46.22
$\text{HCO}_3\text{-Mg}\cdot\text{Ca}$	—	8	—	—	2	1	11	60.37
$\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}\text{-Na}\cdot\text{Ca}$	—	7	2	—	—	—	9	54.68
Cl^-	—	4	1	—	—	1	6	59.24
$\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}\text{-Ca}\cdot\text{Na}$	—	3	—	2	—	—	5	55.75
$\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Na}$	—	1	—	—	1	—	2	40.75
$\text{SO}_4\text{-Ca}$	1	—	—	—	—	—	1	68.90

2.2 富含 H_2SiO_3 地下水的 pH 值特征

有关研究表明,在稀释了的酸和碱中,非晶质 SiO_2 的溶解度大体上是相同的。当 pH 为 9 时,由于硅酸开始分解,溶解度显著增高。pH 值低的水同样是 SiO_2 及其化合物的良好溶剂。但在碱性溶液中(特别是含钠盐的溶液), SiO_2 的溶解度增大。例如,与同一温度和压力下的纯净水相比,水溶液(Na_2CO_3)中 SiO_2 的溶解度可能增大 30 倍,在 NaHCO_3 和 NaOH 溶液中增大 50 倍,而在 NaCl 溶液中增大 90~100 倍。从水中 H_2SiO_3 含量与 pH 值关系散点图(图 6)可以明显看出,当 pH 值小于 6.6 或大于 8.3 时,水中 H_2SiO_3 含量有增加的趋势,其最大值为 128 mg/L,对应的 pH 值为 6.2;而 pH 值介于 6.6~8.3 之间时, pH 值的变化对水中偏硅酸的含量影响不大。我国富含偏硅酸的地下水的 pH 值主要集中在 6.5~8.5 之间。

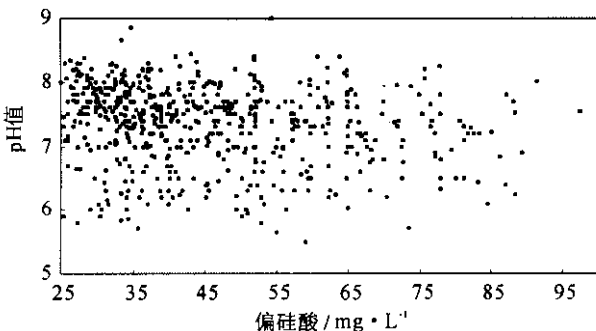


图6 偏硅酸含量与 pH 关系图

Fig. 6 Relationship between the content of H_2SiO_3 and pH values

3 结论

(1) 地下水 H_2SiO_3 的富集与地质环境有密切

关系,与岩石中 SiO_2 的丰度有一定的相关关系。

(2) 地下水中 H_2SiO_3 富集的最有利的地质环境是中酸性侵入岩地层,其次是区域变质岩再次是喷出岩、碎屑岩。

(3) 地下水中 H_2SiO_3 的富集与水化学类型相关, $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 型水最有利于地下水中 H_2SiO_3 的富集。 $\text{SO}_4\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Na}$ 型水不利于 H_2SiO_3 的富集。

(4) 地下水中当 pH 值小于 6.6 或大于 8.3 时,水中偏硅酸含量有增加的趋势,而 pH 值介于 6.6~8.3 之间时, pH 值的变化对水中偏硅酸的含量影响不大。

参考文献

- 刘英俊等. 1984. 元素地球化学. 北京: 科学出版社.
 安可士. 1991. 我国饮用矿泉水资源基本特征及其开发对策. 华北地质矿产杂志, (4): 341~347.
 陈德生. 1989. 湘东南硅酸-锶矿水化学特征及形成条件. 湖南地质, (2): 46~51.
 孙永福等. 1989. 上海饮用天然矿泉水. 上海地质, (10): 1~14.

References

- Liu Yingjun et al. 1984. Element geochemistry. Beijing: Science Press (in Chinese).
 An Keshi. 1991. The essential feature and developmental countermeasure of the drinkable mineral water resource in our country. Journal of Geology and Mineral Resources of North China, (4): 341~347 (in Chinese).
 Chen Desheng. 1989. The chemical characteristic and condition of forming of silicic acid-strontium mineral water in Hunan southeast. Hunan Geology, (2): 46~51 (in Chinese).
 Sun Yongfu et al. 1989. Potable natural mineral water in Shanghai. Shanghai Geology, (10): 1~14 (in Chinese).