

重庆金佛山泉水地球化学特征 及其空间分布意义

高彦芳¹ 李红春^{1,2} 沈立成¹ 杨平恒¹

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 成功大学地球科学系, 台湾 台南 70101)

摘要: 2006 年 7 月和 9 月在重庆金佛山地区选取 22 个地下水出露的泉点, 对泉水的地球化学性质进行详细调查。利用野外和实验室测量手段得到了主要阴离子和阳离子浓度与物理化学参数, 分析得知: 研究区泉水的水化学类型为 Ca-HCO₃ 和 Ca、Mg-HCO₃; 结合地质和地貌背景把它们分为 6 个泉群, 分别讨论各泉群的空间分布意义; 估算泉水方解石(SI_c)、白云石(SI_d)和石膏(SI_g)的饱和度, 即可反映地层岩性、地形和地下水的运移时间对水质的影响, 该区地下水基本上是来自大气降水的下渗, 没有深部含水层的上升混合。这些泉水的地球化学特征以及它们的空间分布规律能够很好地反映区内地质状况, 该研究可以为金佛山地区地下水资源的调查和环境保护提供基础数据。

关键词: 重庆金佛山; 泉水; 地球化学; 区域地质; 岩溶地区

中图分类号: P641.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)02-0322-09

泉水是含水层的水向地表排出的表现, 它的化学成分反映: (1) 水对地层岩石的溶解, 包含岩性对水化学的影响以及水在地层中运移的时间; (2) 深部热液对地下水的贡献; (3) 地表水与深部地下水的混合比例; (4) 地形对地下水流动的影响; (5) 降水对地表与地下水供应的影响; (6) 人类活动对地表和地下水的污染和干扰等^[1]。对于水源主要来自于浅层地下水的泉水来说, 其化学性质与当地的地理条件和人类活动息息相关。

拥有“巴渝第一山”之称的金佛山, 地处重庆市南部南川市境内, 距市区约有 160 km, 属于典型的喀斯特地质地貌区。金佛山地理坐标为 28°50′~29°20′ N, 107°00′~107°20′ E, 属于大娄山北端, 是四川盆地东南边缘与云贵高原北缘交接带。金佛山总面积约 1300 km², 主峰风吹岭海拔 2251 m, 是大娄山脉最高峰^[2]。

随着金佛山资源开发和旅游环境建设的发展, 水土流失^[3]、资源浪费、生态环境破坏^[4]等问题相继

出现, 人类活动影响下的地下水水质发生变化, 因此, 自然环境背景的研究需要进一步深入: 一方面是区域地质与地理背景, 包括岩石、水系和气候等方面的特征; 另一方面是探明和监测人类活动对自然环境的影响。目前, 金佛山的地球化学研究工作还是起步阶段, 区域内水资源和水化学资料很少。笔者研究不同地质背景条件下的金佛山泉水水质的差异, 以期揭示金佛山地区地下水水质是受什么因素控制和影响的。

1 研究区背景

金佛山在构造上属于一个宽缓向斜, 山体上部位位于向斜轴部, 由二叠系灰岩组成, 形成海拔 2000 m 左右的较大面积的缓坡和平台(图 1), 发育有大型的地表地下岩溶动力系统; 山体中部由志留系的页岩、粉砂岩组成, 出露标高为 1500~1000 m; 山体下部由寒武系、奥陶系的白云岩、石灰岩构成, 出露标高为 900~630 m, 此处发育的是较为复杂的岩溶形

收稿日期: 2007-09-10; 改回日期: 2007-12-01

基金项目: 西南大学自然地理学科开放基金(250-411108)、教育部博士点基金(20050635001)、重庆市科委院士专项(CSTC, 2006BC7002)、国家自然科学基金项目(40672165)资助。

作者简介: 高彦芳, 女, 1979 年生, 硕士生, 研究方向为岩溶环境; E-mail: gaoyanfang202@126.com。

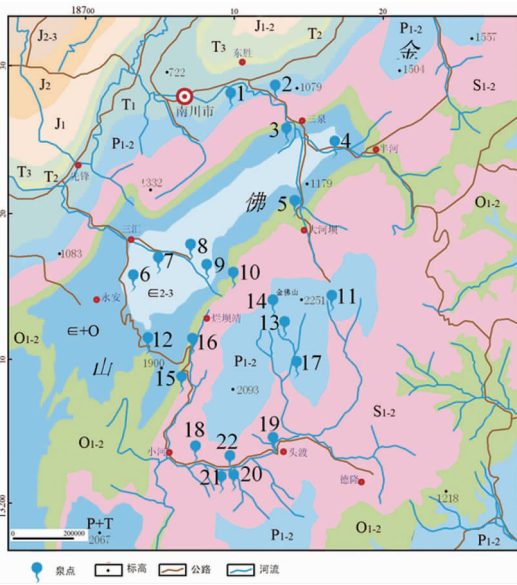


图 1 金佛山取样点示意图

泉点编号为:1—红岩嘴;2—顺龙桥;3—蓬莱林;4—知音山庄;5—龙溪山庄;6—丁家嘴;7—东方红;8—金佛山泉;9—碧潭泉;10—三角堰泉;11—大堰口;12—菜籽沟;13—小觐泉;14—水房泉;15—邓家铺子;16—大弯道;17—双龙洞;18—长岗岭;19—头渡酒厂;20—22—长坝

Fig.1 Map of sampling sites at Jinfo Mountain
ID of samples: 1—Hongyanzui spring; 2—Shunlongqiao spring; 3—Penglailin spring; 4—Zhiyishanzhuang spring; 5—Longxishanzhuang spring; 6—Dingjiazui spring; 7—Dongfanghong spring; 8—Jin foshan spring; 9—Bitan spring; 10—Sanjiaoyan spring; 12—Caizigou spring; 13—Xiaoni spring; 14—Shuifang spring; 15—Dengjiapuzi spring; 16—Dawandao spring; 17—Shuanglongdong Spring; 18—Changgangling spring; 19—Toudujiuchang spring; 20—22—Changba spring

态^[5]。整个山体受垂直气候带的影响,土壤分布具有明显的垂直分带性,从土壤发生学的角度看,山底向山顶依次为黄壤、暗黄壤、黄棕壤、棕壤^[6]。

该区位于亚热带湿润季风气候区,云雾多、日照少,雨量充沛且多绵雨,山底到山顶气候垂直变化明显,温差可达 5~6℃。山体上部的多年平均气温 8.5℃,降雨量 1435 mm,集中分布于每年 4—10 月,约占全年降水量的 83%^[7];山体下部年平均气温 16.6℃,降雨量 1287 mm^[2]。本区年均雾日约 260 d,相对湿度较高。这一温暖多雨且雨热同期的气候条件为区内植被、土壤及岩溶发育提供了一个十分有利的外部环境。

上述这些地质和气候背景对本区的水文地球化学性质有什么影响,前人没有做过详细的调查研究。本研究即是利用该区的泉水地球化学特征,进行了比较深入的分析研究。

2 样品采集和测试方法

2.1 野外测试和样品采集

2006 年 7 月 13—18 日和 9 月 4—7 日,分别于金佛山地区选取 22 个地下水出露的泉点(图 1),进行野外水化学测试和水样采集(2006 年重庆遭遇大旱,从 7 月中旬到 9 月初几乎没有降雨)。

野外用德国 WTW 公司生产的 MULTI-LINE P3 多参数仪和 Merck 公司生产的硬度计和碱度计测试 pH 值、水温、电导率、 Ca^{2+} 和 HCO_3^- ,运用 GPS 测定各个点的具体位置及其标高(表 1)。每个泉点都用事先清洗过的高密度聚乙烯塑料瓶取 100 mL 水样,带回室内进行水化学分析。

2.2 实验室水化学分析方法

在西南大学地理科学学院地球化学与同位素实验室,对样品采用多种分析方法:(1)用 PerkinElmer Optima 2100 DV 型 ICP-OES 测定 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及其他微量元素的含量,它的检测下限是 0.001×10^{-6} ,测量相对误差小于 2%;(2)用 UV-2450 紫外可见分光光度计测得 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 浓度;(3)用 HCl 滴定法测定 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 和 OH^- 离子浓度(表 2);(4)用 GasBench-IRMS 联机测得 $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$,误差小于 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

3 结果分析与讨论

3.1 数据的可靠性

为了验证实验室和野外测试数据的准确性,选取 2006 年 7 月测得 Ca^{2+} 含量的野外和实验室数据做趋势线(图 2)。从图 2 看出, Ca^{2+} 的野外和实验室数据存在非常接近的变化趋势,可证实所测数据准确可靠(其他离子也存在类似现象,只以 7 月 Ca^{2+} 为例说明)。大多数野外数据略高于室内分析数据,其原因与 CO_2 扰动有关^[8],例如 CO_2 脱气导致 CaCO_3 沉淀,降低了 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的浓度,笔者在贵州所做的工作中也存在类似现象^[9-10];而部分室内分析数据高出野外数据则可能是由于野外测试误差或水样中 CaCO_3 颗粒继续溶解导致的。

3.2 金佛山泉水水化学类型

利用地下水水化学 Piper 图解^[11](图 3),可从阴离子三角图解看出,该研究区样点均落在阴离子三角图的左下侧, HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 的浓度处于 45%~100%, SO_4^{2-} 的浓度低于 45%,Cl⁻所占比重较低;在阳离子三角图中,样点也全部落于左下侧,尤以 Ca^{2+} 为

表 1 金佛山泉水野外测试数据

Table 1 Data of field measurements on spring water from Jinfo Mountain

编号	pH		EC(μ s/cm)		T($^{\circ}$ C)		Ca ²⁺ (mg/L)		HCO ₃ ⁻ (mg/L)		标高(m)
	7月	9月	7月	9月	7月	9月	7月	9月	7月	9月	
1	7.24	--	531	--	19	--	106	--	170	--	630
2	7.45	7.55	381	413	17.8	19.7	92	84	183	192	640
3	7.17	--	540	--	18.4	--	130	--	292	--	649
4	8.28	--	688	--	25.6	--	49	--	225	--	675
6	7.67	7.5	336	472	17.4	16.2	48	66	189	308	688
7	8.18	8.23	370	334	21.8	30.3	62	52	198	186	702
5	7.78	7.95	187	257	14.6	17.8	46	48	91	134	730
8	7.71	7.79	370	406	16.6	21	56	52	225	237	740
9	7.88	7.97	322	322	14.7	14.8	42	35	201	213	760
10	7.77	--	310	--	19.6	--	69	--	170	--	770
20	7.14	7.17	413	391	18.2	19	92	82	225	250	789
21	7.3	7.24	414	364	18	20.8	74	74	201	219	789
22	8.35	8.36	284	297	15.1	24.1	44	52	115	146	791
19	7.08	7.58	304	242	14.7	15.2	46	44	85	67	838
12	7.63	7.91	252	170	15.6	17	34	40	97	115	1289
15	8.22	8.28	247	225	18.3	16.5	40	40	158	158	1333
18	7.15	7.45	295	288	12.8	13.5	66	74	158	158	1344
16	7.04	6.71	206	192	13.5	16.2	28	23	30	36	1376
17	7.79	8.14	215	219	11.1	10.8	50	54	103	140	1526
11	7.71	8.24	160	174	12	10.9	54	47	128	122	1923
14	7.19	7.83	172	188	10	9.6	44	51	103	140	2018
13	7.23	7.41	94	107	9.5	9.2	33	31	112	85	2072

表 2 金佛山泉水主要阴、阳离子的实验室分析数据(mg/L)

Table 2 Data of laboratory analyses for major cations and anions in spring water from Jinfo Mountain. All the measurements were carried out at the Lab of Southwest University

编 号	地 层 年代	Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻	
		7月	9月	7月	9月	7月	9月	7月	9月	7月	9月	7月	9月	7月	9月
4	Є	50.84	--	27.06	--	0.79	--	0.02	--	229	--	6.16	--	50.63	--
6	Є	41.49	66.83	20.84	35.61	0.71	0.66	0.28	0.49	195	277	1.03	2.58	26.93	35.32
7	Є	55.68	52.46	8.6	16.57	1.79	0.94	1.34	1.73	153	149	5.75	5.71	26.43	24.32
8	Є	67.08	54.62	10.79	27.15	0.65	0.53	0.19	0.3	255	242	0.48	1.44	30.38	42.04
9	Є	42.38	44.01	22.04	23.62	0.39	0.47	0.15	0.21	195	192	3.73	0.78	17.54	12.89
3	O	84.63	--	3.78	--	0.81	--	2.88	--	291	--	6.30	--	62.23	--
5	O	35.84	46.94	2.34	4.9	0.77	0.63	1.16	2.73	97	117	1.51	2.94	55.57	26.96
10	O	61.01	55	3.18	8.66	0.57	0.45	0.58	0.83	172	146	2.88	1.40	24.70	25.50
12	O	27.06	38.62	1.94	3.93	0.1	0.09	0.25	0.41	88	97	10.34	0.16	6.93	13.13
15	O	48.22	40.26	6.66	15.43	0.49	0.5	0.25	0.37	157	135	8.97	0.29	20.01	14.70
16	O	29.52	21.8	3.58	6.81	1.6	0.86	5.72	4.71	36	33	9.04	5.77	19.52	15.01
18	S	59.21	72.99	3.58	4.77	0.21	0.2	0.53	0.59	168	155	2.77	1.76	28.65	25.42
19	S	42.81	38.61	6.27	8.94	2.06	0.89	10.01	6.01	90	112	8.87	5.51	54.58	36.86
20	S	83.64	89.58	2.64	7.12	1.02	0.58	3.19	3.71	237	219	3.80	1.70	33.59	36.80
21	S	73.8	74.23	5.27	7	4.29	1.89	6.4	4.88	203	183	9.18	3.88	46.93	36.43
22	S	46.58	52.4	5.47	10.69	1.28	0.88	5.03	5.83	122	115	1.78	1.83	50.14	53.27
2	P	65.6	78.35	13.93	6.73	0.66	0.53	0.73	1.57	174	170	4.59	2.02	61.74	52.86
11	P	36.98	43.62	1.54	2.76	0.24	0.19	0.07	0.22	111	107	4.25	0.39	5.20	8.20
13	P	19.11	28.4	0.95	2.38	0.26	0.33	0.5	0.68	59	70	1.64	5.38	3.47	6.94
14	P	44.48	45.04	1.96	3.03	0.35	0.26	1.31	0.69	111	54	3.05	2.19	7.91	7.63
17	P	43.3	51.66	2.59	4.45	0.4	0.26	0.68	0.74	126	94	2.26	0.49	36.06	39.59
1	T	96.35		6.71		0.66		3.08		170		14.86		88.16	

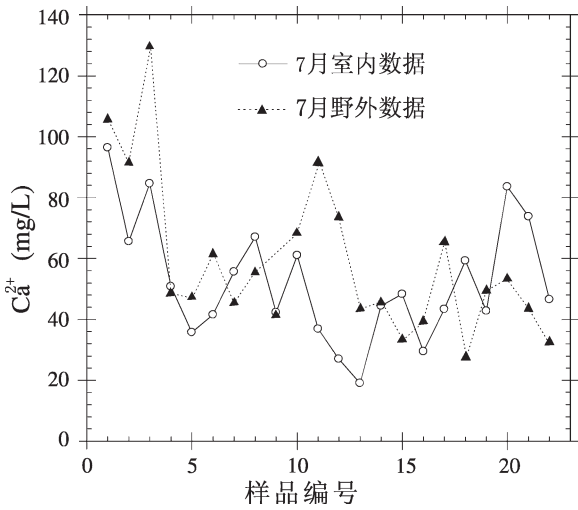


图 2 2006 年 7 月 Ca²⁺野外与实验室测试数据的趋势线
 Fig.2 Trend of Ca²⁺ concentrations between field and Lab results in July,2006

主,比重占到 80%~100%,Mg²⁺低于 50%,没有 K⁺和 Na⁺为主的样点;几乎所有的样点均落于菱形图的 5 区左上侧,即研究区水化学类型为 Ca-HCO₃型和 Ca、Mg-HCO₃型,又以 Ca-HCO₃型为主。此 Piper 图(图 3)基本反映了该区地下水水化学的特征,与重庆北温泉泉水的水化学类型有所不同,北温泉的水化学类型为 Ca-SO₄型,是因为地表补给水进入含石灰岩的三叠系嘉陵江组和雷口坡组(含有石膏)地层,溶解了碳酸钙和石膏。而四川康定温泉,地处青藏高原东北缘的鲜水河活动断裂带,地表水下渗到深部花岗岩体中,溶解来自深部的 CO₂形成含 HCO₃的弱酸性溶液,进一步溶解花岗岩中的钠长石,形成高温热泉。康定温泉明显富集 Na⁺,水化学类型为 Na-HCO₃型^[9]。

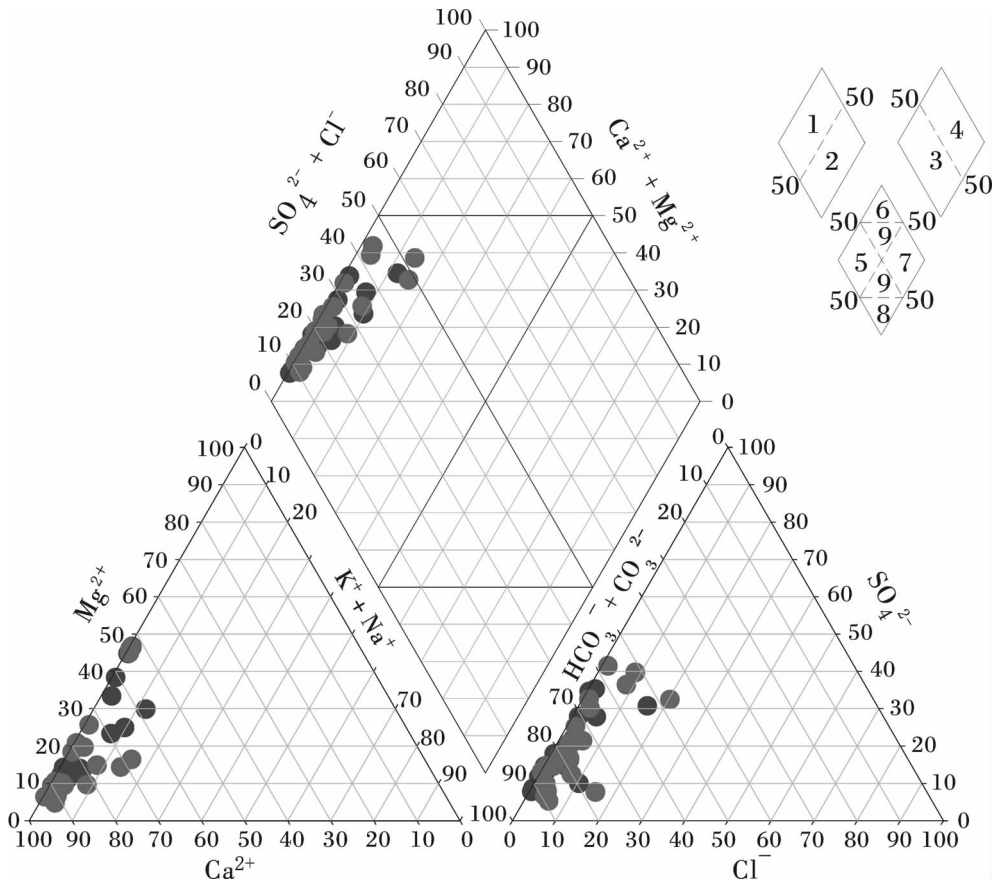


图 3 金佛山地下水水化学 Piper 图解(单位:mg/L)
 Fig.3 Piper diagram of groundwater hydrochemistry at Jinfo Mountain (unite:mg/L)

由此可见,北温泉和康定温泉的水化学性质与金佛山泉水的水化学性质大不相同,后者反映了岩溶地区浅层地下水以石灰岩溶解为主要特征的来源,该泉水更能够反映表层系统对水化学性质的影响。

3.3 金佛山泉水水化学特征及空间分布意义

3.3.1 地层岩性对水化学的控制

不同地质时代的地层岩性不同,地层岩性是地下水水化学性质的主要控制因素^[2]。 Ca^{2+} 与 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 存在较强的正相关关系(图4),主要反映本区地表或地下水溶解石灰岩(包括白云岩),也溶解一部分硫酸盐(如石膏)。在不同海拔高度、不同地质背景的泉点,泉水对围岩的溶解量不同,正相关关系正好反映了本区以岩溶地质为主的特征。如果本区受以花岗岩等非石灰岩类岩石,或主要受土壤中矿物质溶解的影响,那么本区的泉水就不会呈现上述特征。

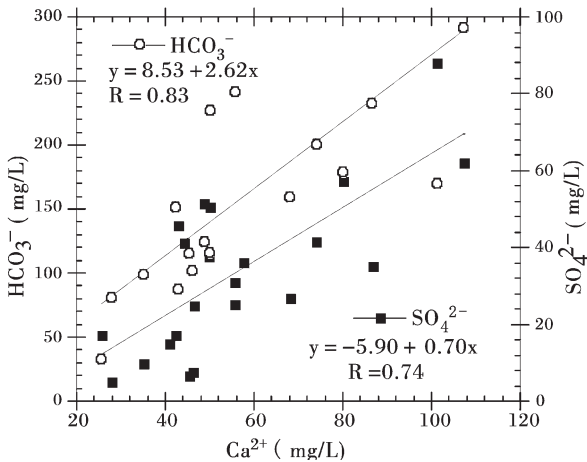


图4 金佛山泉水 Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 的线性关系图

Fig.4 Relationships of Ca^{2+} with SO_4^{2-} and HCO_3^- in springs of Jinfo Mountain

样品中,常量阳离子依次为 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ ,其他阳离子浓度甚微,将各泉点的这4种离子之和与电导率(EC)做线性相关图(图5),发现两者也有很好的正相关。因为电导率取决于溶液中存在的离子的总浓度、迁移率、不同价数离子的相对浓度以及测定时的温度^[3]。即说明不同泉域地下水对地层岩石的溶解量不同,溶解量低的地区,离子浓度低,电导率低。通常,人类活动干扰破坏水体中的阴阳离子平衡,也会影响电导率,例如:水体中加入某种大大超出背景值的离子或污染源,水中的电导率就可能与这些自然溶

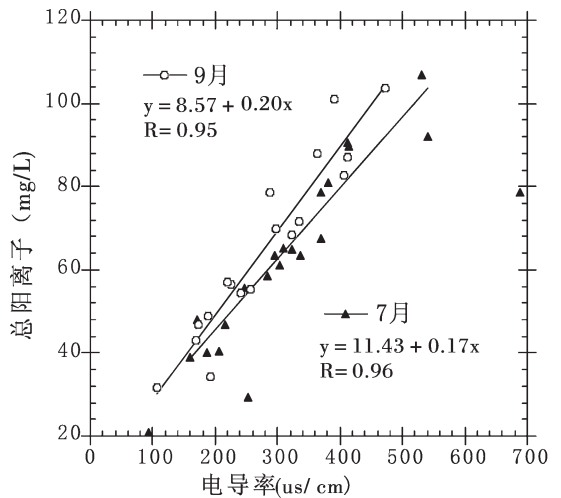


图5 金佛山泉水中7月和9月所测的EC与总阳离子的线性关系

Fig.5 Linear relation between EC and the total cation concentration in spring waters at Jinfo Mountain measured in July and September

解的阳离子不成正比。因此,所测泉水样品的数据表明,该区受人类活动的干扰较少。

综上所述,本区泉水的水化学特征说明各泉点的地球化学性质主要受到地层和岩性的影响和控制,基本上直接反映地表水进入地下后对围岩的溶解作用。表层土壤和人类的活动对本区泉水的化学性质影响不大。

3.3.2 金佛山泉群的划分

从取样点的地区分布上看(图1),大体有4个区域,即金佛山山顶、南坡、西坡、北坡。由于地下水分布的不均一性,每个泉点的地表汇水区域并不一定完全代表泉域范围^[4],而且泉水的化学性质不仅取决于地层岩性和地下水的运移时间,还受高程气候控制的生物产生 CO_2 和有机酸效应控制^[5]。后者既可以在地表水进入地下之前影响水化学性质,又可以在地下水出露的泉点周围影响水化学性质。所以,根据泉点的地理位置和泉水的化学性质,将各泉点划分为6个泉群,再分别讨论其空间分布的意义(表3)。

3.3.3 地层岩性、地形和地下水的运移时间对水化学的影响

利用现有的地球化学指标估算方解石、白云石、石膏的饱和指数^[6](表4)。通过各泉水水中的方解石、白云石、石膏值,可以看出地层岩性、地形和地下水的运移时间对水化学的影响较大。

首先,所有泉点石膏值均小于零,说明泉水中的

表 3 金佛山泉水泉群的划分及其空间分布意义

Table 3 Division of spring groups and their spatial distribution at Jinfo Mountain

泉群归属	所属泉点	空间分布意义
泉群 1	11、13、14、17	位于金佛山山顶保护区内, 海拔大于 1500 m, 出露于二叠系灰岩地层, 地下水运移时间较短, 各种离子的浓度较低
泉群 2	12、15、16、18	位于金佛山南坡上山沿路, 海拔 1280~1380 m, 出露于奥陶系和志留系, Ca ²⁺ 和 HCO ₃ ⁻ 的浓度由第 16 号泉点的最低值, 到较低海拔的其他 3 个泉点逐渐增加
泉群 3	4、6~9	大致位于金佛山西坡, 海拔在 675~760 m, 出露于以白云质灰岩为主的寒武系。Mg ²⁺ 含量相对较高
泉群 4	19~22	位于金佛山南坡, 海拔在 789~838 m, 出露于以泥岩和砂岩为主并且局部地方有钙质页岩的志留系, Ca ²⁺ 和 HCO ₃ ⁻ 的浓度依照海拔降低的方向增加。20、21、22 号泉点都位于长坝, 22 号点直接出露于基岩, 20、21 号则分别位于稻田和居民区内, 22 号点的水化学特征基本受基岩控制, pH 值相对较高, 其他两个点可能受到人类活动的影响, pH 值偏低, 其他各种离子的浓度都明显偏高
泉群 5	5、10	位于金佛山北坡与西坡, 两者的海拔相近, 介于泉群 1 和泉群 3 之间的过渡带。它们的化学性质可以受泉群 1 和泉群 2 两组地层的影响, 所以不具有明显的特点。
泉群 6	1~3	位于金佛山北坡, 海拔处于研究区最低点, 出露于三叠系灰岩地层, 它们距南川市较近, 受人类活动影响较大。许多化学指标偏高, 尤其是 Ca ²⁺ 、HCO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 和 EC, Hg ²⁺ 的含量为 0.002~0.009 mg/L, 可能受人类活动影响较大, 不能很好地反映地层情况

表 4 金佛山泉水饱和指数计算结果

Table 4 Calculation of saturation indexes of calcite, dolomite and gypsum in springs at Jinfo Mountain

编 号	方解石		白云石		石膏		编 号	方解石		白云石		石膏	
	7 月	9 月	7 月	9 月	7 月	9 月		7 月	9 月	7 月	9 月	7 月	9 月
11	-0.3	0.3	-2.2	-0.4	-2.8	-2.7	8	0.3	0.1	0.1	-0.3	-2.1	-2.0
13	-1.0	-0.8	-3.4	-2.7	-3.2	-2.9	9	0.2	0.3	0.3	0.5	-2.5	-2.6
14	-0.9	-0.1	-3.2	-1.4	-2.7	-2.7	19	-0.9	-0.4	-2.5	-1.3	-1.9	-2.1
17	-0.1	0.3	-1.3	-0.4	-2.1	-2.0	20	-0.1	-0.4	-1.5	-1.9	-1.9	-1.8
12	-0.4	-0.2	-1.9	-1.6	-2.9	-2.5	21	-0.3	-0.1	-1.9	-3.0	-1.8	-1.9
15	0.5	0.5	0.5	0.8	-4.3	-2.5	22	0.5	0.7	0.2	1.0	-2.0	-1.9
16	-1.5	-1.9	-3.8	-4.1	-2.5	-2.7	5	-0.2	0.2	-1.5	-0.4	-1.9	-2.2
18	-0.5	-0.1	-2.0	-1.2	-2.1	-2.1	10	0.3	-0.4	-0.5	-1.1	-2.1	-2.4
4	0.8	--	1.7	--	-2.0	--	1	-0.4	--	-2.0	--	-1.4	--
6	0.1	0.2	0.0	0.3	-2.3	-2.1	2	0.0	0.2	-0.5	-0.5	-1.7	-1.8
7	0.7	0.8	0.8	1.4	-2.2	-2.3	3	0.1	--	-1.1	--	-1.6	--

CaSO₄ 处于不饱和状态。由于水中石膏、方解石和白云石的溶解度依次为 CaSO₄>CaMg(CO₃)₂>CaCO₃^[1], 即是本研究区的地质中石膏含量较低。

其次, 石灰岩的溶解度随着地形和地下水运移时间的变化, 各泉群差异较大(图 6)。以 7 月份的数据为参考, 海拔最高的泉群 1, 方解石的饱和指数值均小于零, 说明泉水中的方解石处于不饱和状态。泉群 2、4 和 5 中均有一个泉点的方解石值大于零, 而泉群 3 海拔较低, 所有方解石的饱和指数值都大于零, 显示降水从地表进入地下后, 在向下迁移的过程中运移时间不断增长, 水中石灰岩的浓度不断

增加。当然, 生物产 CO₂ 和有机酸效应也是石灰岩浓度变化的一个原因。泉群 6 受到人类活动的影响较大, 在此不予讨论。

另外, 根据金佛山泉水 δ¹⁸O 分析(表 5), 各泉群的海拔高度与方解石值呈反相关关系, 以及 Ca²⁺ 和 HCO₃⁻ 浓度随海拔升高而减低的情况, 可以判断该区地下水主要来自于大气降水, 不存在深部碳酸盐含水层。7 月和 9 月的 δ¹⁸O 相差不大, 平均值比金佛山山顶 7 月降雨数据偏重 3.63‰, 表明地下水混和比较均匀, 没有来自深部含水层 δ¹⁸O 非常偏重的地下水。假如有深部的碳酸盐含水层, 那么地下

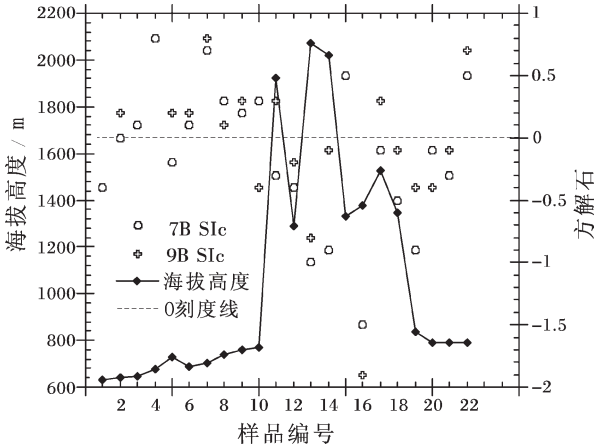


图6 金佛山泉水的海拔高度与方解石饱和指数的关系
Fig.6 Relationships between the altitude and saturation index of calcite (SIc) in the springs of Jinfo Mountain

表5 金佛山泉水 $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$ 分析

Table 5 Data of $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$ analysis of spring waters from Jinfo Mountain

编号	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}/\text{‰}$		编号	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}/\text{‰}$	
	7月	9月		7月	9月
1	-6.28	--	21	-7.20	-7.09
2	-6.51	-7.06	22	-7.05	-6.91
3	-6.05	--	19	-6.80	-7.10
4	-6.28	--	12	-5.98	-7.46
6	-6.89	-7.44	15	--	-7.93
7	-6.34	-6.80	18	-7.28	-7.76
5	-6.69	-7.34	16	-6.70	-7.35
8	-6.93	-7.90	17	-7.84	-8.10
9	-6.86	-7.96	11	-7.53	-8.41
10	-6.50	-7.00	14	-8.27	-8.51
20	-7.23	-7.11	13	-7.44	-8.75
金佛山山顶雨水				-10.85‰	

水水温可能较高,在沿裂隙上来时石灰岩就已经达到饱和,即 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度也不应该随着海拔升高而降低。由此判断该区泉水没有来自深部含水层的上升混合,主要来自地表下渗的大气降水。

再次,泉群3的白云石的饱和指数值基本上都大于零,表明该泉群白云石在泉水中过饱和,地下水在寒武系白云质灰岩地层溶解了大量的 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 。而其他各泉群除15和22号点之外,白云石的饱和指数值都小于零。这套寒武系白云质灰岩地层是在二叠系和三叠系的灰岩地层之下,从泉群1到泉群3,方解石和白云石的溶解度在穿过1000 m

厚的地层达到饱和,说明地下水有一定的运移时间。

最后,9月份各泉点的方解石、白云石、石膏的饱和指数值一般都高于7月份的,一方面可能反映了气温增加对饱和度的影响,另一方面主要是由于2006年7月中旬到9月初大旱无雨,地下水流量减少,水流速度减缓,在地层中的滞留时间增长,矿物的溶解量增加。再者,7、9月的土壤 CO_2 和有机酸含量也不同,尽管没有金佛山土壤 CO_2 和有机酸的测量数据,但是2006年9月比7月干热是事实,这样的气候条件不利于生物活动,土壤中的 CO_2 和有机酸含量降低,对应泉水中的pH值升高,那么其SI就偏高。总之,温度对饱和度的影响、干旱造成水在地层中的滞留时间长和矿物的溶解量增加以及干热造成土壤 CO_2 和有机酸的降低,都使得9月份泉水的方解石、白云石、石膏的饱和指数值升高。

4 结论

(1) Ca^{2+} 由2006年7月野外和实验室分析数据呈相近的趋势,可证实测量数据准确可靠。研究区泉水水化学类型为: $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型和 $\text{Ca}, \text{Mg}-\text{HCO}_3$ 型,以 $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型为主。

(2) 金佛山地区泉水的地球化学特征主要受地层岩性和地形的影响,人为因素的干扰和控制较小,结合金佛山地质和地貌背景,利用泉水的地球化学性质将本区泉水划分为6个泉群,分别讨论其空间分布意义。

(3) 金佛山地区的地下水基本上是来自大气降水的下渗,没有深部含水层的上升混合,泉水中方解石、白云石、石膏的饱和指数值反映了地层岩性、地形和地下水的运移时间,以及受高程气候控制的生物产 CO_2 和有机酸效应控制,对本区地下水资源的调查和环境保护提供了基础数据。

致谢:感谢西南大学地理科学学院孙玉川老师、博士研究生贺秋芳和硕士研究生袁文昊、张强、蒲俊兵、胡宁等在野外取样和实验室分析中所给予的帮助。

参考文献(References):

- [1] 朱学愚,钱孝行.地下水水文学[M].北京:中国环境科学出版社,2005:68-110.
Zhu Xueyu, Qian Xiaoxing. Groundwater Hydrology[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005:68-110 (in Chinese).
- [2] 政协南川县委员会《金佛山》丛书编委会.全国重点风景名胜区—金佛山[M].重庆:重庆出版社,1993:1-3.

- The CPPCC NanChuan County Commission "Jin Foshan Mountain" Series Editorial Board. The Nation's Key Scenic Spots - Jin Foshan Mountain[M].Chongqing:Chongqing Publishing House, 1993:1-3(in Chinese).
- [3] 戴亚南. 金佛山岩溶环境与经济开发对策 [J]. 四川环境, 2002, (21)4:55-57.
- Dai Yanan. Mt. Jinfo karst environment and its countermeasures of economic development[J]. Sichuan Environment, 2002, (21)4:55-57(in Chinese with English abstract).
- [4] 戴亚南. 论生物多样性保护在岩溶环境开发中的意义-以金佛山岩溶区为例[J]. 国土与自然资源研究, 2004, 4:48-49.
- Dai Yanan. Study of the significances of biodiversity conservation in Jinfoshan mountain karst area [J]. Territory & Natural Resources Study, 2004, 4:48-49(in Chinese with English abstract).
- [5] 李林立, 况明生, 蒋勇军, 等. 金佛山岩溶生态系统初步探讨-岩溶泉水化学特征分析[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2003, 26(2):201-204.
- Li Linli, Kuang Mingsheng, Jiang Yongjun, et al. Study on the Karst ecosystem of Mountain Jinfo [J]. Journal of Sichuan Normal University (Natural Science), 2003, 26(2):201-204(in Chinese with English abstract).
- [6] 李林立, 高波, 蒋勇军, 等. 重庆金佛山岩溶区表层岩溶生态系统 CO₂ 浓度分析[J]. 热带地理, 2004, 24(4):326-331.
- Li Linli, Gao Bo, Jiang Yongjun, et al. A study on CO₂ concentration of epikarst ecosystem under different land-cover in typical regions of the Mt. Jinfo [J]. Tropical Geography, 2004, 24(4):326-331(in Chinese with English abstract).
- [7] 张任, 朱学稳, 韩道山, 等. 重庆市南川金佛山岩溶洞穴发育特征初析[J]. 中国岩溶, 1998, 17(3):196-211.
- Zhang Ren, Zhu Xuewen, Han Daoshan, et al. Preliminary study on karst caves of Mt. Jinfo, Nanchuan, Chongqing [J]. Carsologica Sinica, 1998, 17(3):196-211(in Chinese with English abstract).
- [8] 刘再华. 桂林岩溶水文地质试验场岩溶水文地球化学的研究[J]. 中国岩溶, 1992, 11(3):209-217.
- Liu Zaihua. Study on the karst hydrogeochemistry of the Guilin Karst hydrogeological experimental site[J]. Carsologica Sinica, 1992, 11(3):209-217(in Chinese with English abstract).
- [9] 曹云, 李红春, 刘再华, 等. 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 Yun, Li Hongchun, Liu Zaihua, et al. Comparison of geochemical features of warm springs between Chongqing and Kangding[J]. Carsologica Sinica, 1998, 17(3):112-120(in Chinese with English abstract).
- [10] 李俊云, 李红春, 刘子琦, 等. 贵州中西部洞穴水系与碳酸钙沉积物的 Mg/Sr 比值和地球化学特征 [J]. 中国岩溶, 2006, 25(3):177-186.
- Li Junyun, Li Hongchun, Liu Ziqi, et al. Geochemical features and Mg/Sr ratio of the samples from cave water and speleothem in central western Guizhou, China [J]. Carsologica Sinica, 2006, 25(3):177-186(in Chinese with English abstract).
- [11] 刘玉, 刘德深, 沈立成. 云南维西花岗岩地区水文地球化学特征及形成机制研究[J]. 地球化学, 2007, 36(2):161-170.
- Liu Yu, Liu Deshen, Sheng Licheng. Hydrogeochemical characteristics and mechanisms of granite area in Weixi, Yunnan Province [J]. Geochimica, 2007, 36(2):161-170(in Chinese with English abstract).
- [12] 曾昭华. 长江中下游地区地下水中化学元素的背景特征及形成 [J]. 地质学报, 1996, 70(3):262-269.
- Zeng Zhaohua. The background features and formation of chemical elements of groundwater in the area of the middle and lower beaches of the Yangtze River [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(3):262-269(in Chinese with English abstract).
- [13] 鲁四光, 周怀东, 李怡庭, 等. 水质分析方法[M]. 北京: 学术书刊出版社, 1989:24-25.
- Lu Siguang, Zhou Huaidong, Li Yiting, et al. Water Quality Analysis Method[M]. Beijing: Academic Press, 1989:24-25 (in Chinese).
- [14] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988, 14-15.
- Yuan Daoxian, Cai Guihong. Karst Environment[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988:14-15 (in Chinese).
- [15] 朱锦旗, 王彩会, 陆徐荣, 等. 苏锡常地区浅层地下水铁锰离子分布规律及成因分析[J]. 水文地质工程地质, 2006, 3:30-37.
- Zhu Jinqi, Wang Caihui, Lu Xurong, et al. An analysis of the occurrence and influence factors of Fe²⁺ and Mn²⁺ in the shallow groundwater in the Suzhou -Wuxi -Changzhou area [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, 3:30-37 (in Chinese with English abstract).
- [16] Kharaka Y K, Gunter W D, Affarwall P K, et al. Solmneq 88: A computer Program Code for Geochemical Modeling of Water - Rock Interactions[C]//U S Geological Survey Water Investigations Report 88-05, 1988:207.

Geochemical characteristics and spatial distribution of spring water at Jinfo Mountain, Chongqing

GAO Yan-fang¹, LI Hong-chun^{1,2}, SHEN Li-cheng¹, YANG Ping-heng¹

(1. College of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Department of Earth Sciences, Cheng-Kung University, Tainan, 70101 Taiwan, China)

Abstract: Spring waters of twenty-two springs at Jinfo Mountain, Chongqing, were sampled and their geochemical characteristics were studied in detail during July and September 2006. Field and laboratory measurements of the concentrations of major cations and anions and other physico-geochemical parameters in the spring waters show that the hydrochemical types of these springs are Ca-HCO₃ and Ca and Mg-HCO₃, and on that basis, combined with the geological and geomorphological characteristics of the springs, six spring groups may be identified and the significance of the spatial distribution of these spring groups are discussed. The authors calculated the saturation indexes of calcite, dolomite and gypsum in the springs, which can indicate the influences of the lithology of the strata, topography and residence time of groundwater on the water quality. The results show that the spring waters in the area mainly come from penetration of meteoric water, without mixture of groundwater from the deep aquifer. The geochemical characteristics and spatial distribution of the spring waters may well reflect the geology of the study area. This study may provide baseline data for the investigation of groundwater resources and protection of the environment in the Jinfo Mountain area.

Key words: Jinfo Mountain; Chongqing; springs; geochemistry; regional geological; karst area

About the first author: GAO Yan-fang, female, born in 1979, postgraduate, engages in the study of karst environment; E-mail: gaoyanfang202@126.com.