文章编号：1006－544X（2005）04－0423－03

# 重庆金佛山碧潭泉岩溶泉水的物理化学特征

吴孔运[1]，何寻阳[2]，罗华彪[3]

（1. 中国地质科学院 岩溶地质研究所，广西 桂林　541004；2. 中国科学院 亚热带农业生态研究所，长沙　410125；3. 湖南有色地质勘查局 二一七队，湖南 衡阳　421001）

**摘　要：**采用CTDP多参数自动记录仪、现场测定和取水样室内分析等相结合的方法，对金佛山碧潭泉水的物理化学特征进行了研究. 泉水在白天的温度、电导率和pH分别为14.65℃、350 μS/cm和7.70，而在夜间分别为14.53℃、320 μS/cm和7.62，有较为明显的昼夜周期变化规律. 碧潭泉水化学月变化动态对降雨有一种直接响应过程，降雨的水动力效应和稀释效应同时影响着碧潭泉水的水位、温度、电导率、pH、$Ca^{2+}$和$HCO_3^-$等离子浓度的变化. 碧潭泉水的物理化学特征呈现日动态变化和月动态变化.

**关键词：**岩溶泉；物理化学特征；变化动态；金佛山；重庆

**中图分类号：**P641.12；P641.134　　**文献标识码：**A

金佛山位于重庆南川市境内，属于大娄山东段的一部分，由金佛、箐坝、柏枝三山等108峰组成. 属典型的喀斯特地貌[1]. 地理坐标为北纬28°50′～29°20′，东经107°～107°20′. 为国家级森林公园和国家级自然保护区.

碧潭泉出露于金佛山西坡，海拔约800 m，为接触式溢流泉，泉区附近年平均气温为16.6℃，年平均降雨量为1 286.5 mm，大气降水为泉水的唯一补给源. 泉区植被发育，主要为常绿阔叶乔木林及次生灌丛. 地质构造简单，为一些简单的褶皱构造和节理构造. 出露的地层为一套中上寒武系的白云岩、白云质灰岩以及奥陶系灰岩. 碧潭泉的水文地质剖面如图1所示.

## 1　研究方法

在岩溶地区，岩溶动力系统由大气圈、水圈、岩石圈和生物圈（包括土壤和植物）组成，各个圈层进行着强烈的物质和能量交换，各种生物化学反应都能在水的参与下进行. 因此动态监测岩溶地区泉水水化学的日变化或月变化，能够反映岩溶作用的进行过程和强度，尤其是能揭示岩溶泉水的物理化学特征.

用于动态监测的仪器是澳大利亚Greenspan公司生产的CTDP300型多参数（雨量－水位－温度－pH－电导率）自动记录仪，该仪器能每隔15 min自动记录一次水的温度、pH值、电导率、水位和降雨量，其分辨率分别达0.1℃、0.02 pH单位、1 μS/cm和0.002 m，雨量计的精度为0.01 mm.

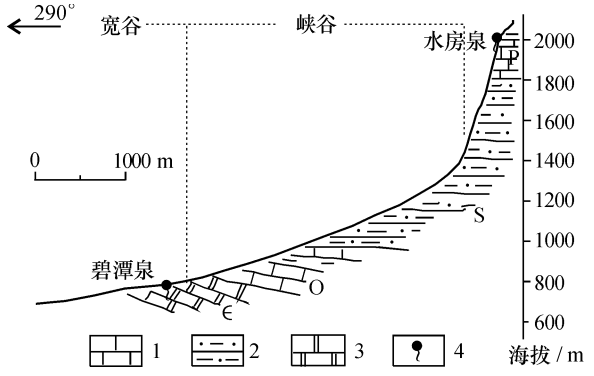



**图1　金佛山碧潭泉水文地质剖面图**

Fig. 1　Hydrogeological profile of Bitang Spring for Jinfu Mt

1—灰岩；2—砂岩；3—白云岩；4—泉水

**收稿日期：**2004－07－26

**基金项目：**国家重大基础研究前期研究专项资助项目（2002CCA05200）

**作者简介：**吴孔运（1963－），男，博士研究生，高工，研究方向：岩溶生态.

为了详细了解研究区岩溶泉水的地球化学特征,还同时取回水样用于室内分析以测定其 $K^+$, $Na^+$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $SO_4^{2-}$, $HCO_3^-$ 和 $Cl^-$ 的浓度.

## 2 结果与分析

### 2.1 碧潭泉的地球化学特征

由表 1 可知,金佛山碧潭泉的 $HCO_3^-$ 和 $Ca^{2+}$ 浓度高的达到了 199.16 mg/L 和 46.05 mg/L, $Mg^{2+}$ 的浓度高的为 21.90 mg/L. 碧潭泉的 $HCO_3^-$, $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 3 种离子占阴阳离子浓度总数的 71%, 16% 和 7%. 故碧潭泉的水化学类型为 $HCO_3$ – Mg – Ca 型.

计算 $SI_C$、$SI_D$ 和 $p_{CO_2}$ 至少需要 9 个参数,它们是水温、pH、7 种主要离子( $K^+$, $Na^+$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $SO_4^{2-}$, $HCO_3^-$ 和 $Cl^-$ )的浓度. 利用 WATSPEC 计算机软件[2],计算出碧潭泉的 $SI_C$、$SI_D$ 和 $p_{CO_2}$ (表 1). 以往的理论研究和实际测试发现[3],岩溶泉水中 $Ca^{2+}$ 和 $HCO_3^-$ 的浓度与 25℃时泉水的电导率 $\kappa$ 均存在很好的线性关系. 此次测试发现其浓度与 25℃时泉水的电导率 $\kappa$ 存在以下线性关系

$$[Ca^{2+}] = 0.049\ 86 + 0.166\ 45\ \kappa$$

$$[HCO_3^-] = 0.099\ 12 + 0.010\ 7\kappa$$

式中:$[Ca^{2+}]$ 的单位为 mg/L; $[HCO_3^-]$ 的单位为 mmol/L; $\kappa$ 为 25℃时泉水的电导率,单位 μS/cm .

### 2.2 碧潭泉水的物理化学特征日、月变化动态

2.2.1 *日动态变化* 由图 2 可知, 碧潭泉水的水位、温度、电导率和 pH 在白天高, 夜间低, 有较为明显的昼夜周期变化规律.

2.2.2 *月动态变化* 图 3 是由安装在碧潭泉上的 CTDP 多参数自动监测仪 7 月份的观测数据而生成的月变化曲线. 图中的 $Ca^{2+}$ 和 $HCO_3^-$ 离子浓度是根据 $Ca^{2+}$ 和 $HCO_3^-$ 浓度与 25 ℃时泉水的电导率 $\kappa$ 存在的线性关系算出来的.

碧潭泉在没有降雨或降雨量很少的情况下,水各项物理化学指标变化很小或不规则,但在7

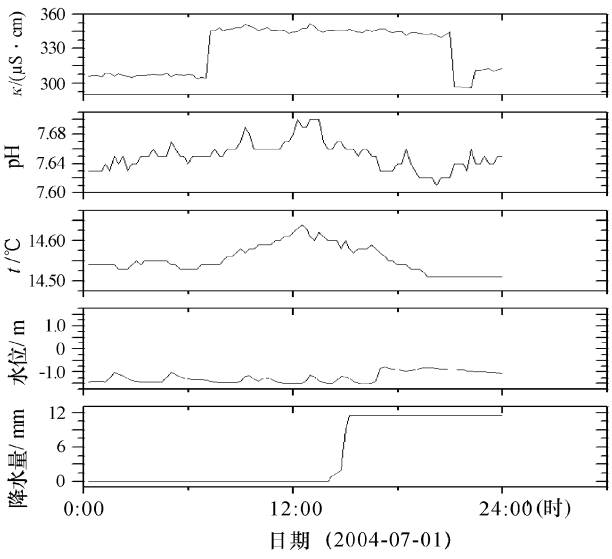



图 2 碧潭泉水的物理化学特征的日变化曲线

Fig. 2 Diurnal hydrochemical variations of Bitang Spring

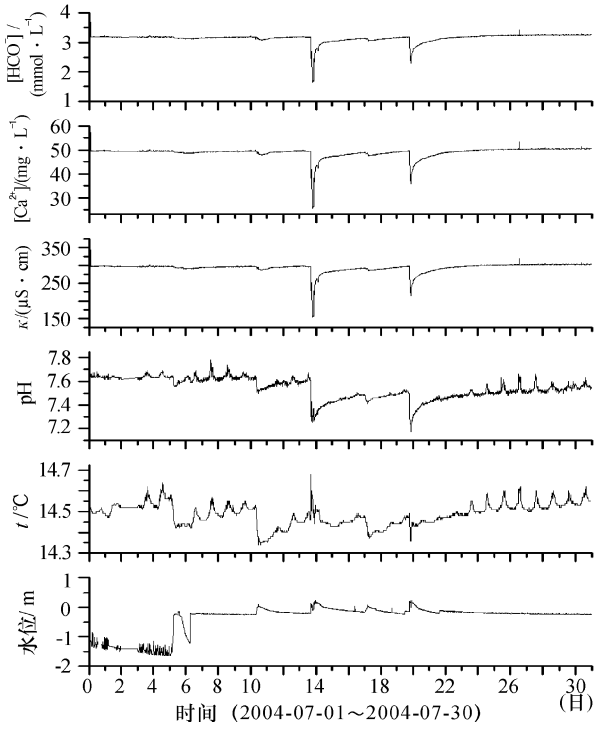



图 3 碧潭泉水的物理化学特征的月变化曲线

Fig. 3 Lunar hydrochemical variations of Bitang Spring

表 1 碧潭泉水的地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of the Bitang Spring

| 样号 | 取样时间 | 常规离子 $\rho_B$/(mg·L$^{-1}$) | | | | | | | 水温 ℃ | pH | 电导率 $\kappa$/(μS·cm$^{-1}$) | $SI_C$ | $SI_D$ | $p_{CO_2}$/Pa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $K^+$ | $Na^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $SO_4^{2-}$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | | | | | | |
| 1 | 11:30 | 0.47 | 0.16 | 46.05 | 15.81 | 13.54 | 183.59 | 5.3 | 14.5 | 8.24 | 327 | 0.57 | 0.84 | 89 |
| 2 | 15:10 | 0.21 | 0.01 | 36.47 | 21.90 | 11.29 | 199.16 | 3.53 | 14.4 | 7.83 | 317 | 0.12 | 0.17 | 251 |

水温、pH、电导率值为 CTDP 多参数仪现场测试; $SI_C$ 为方解石饱和指数, $SI_D$ 为白云石饱和指数

月 14 日和 7 月 20 日两次阵雨后，泉水水位迅速升高，泉水的温度上升，而泉水的 pH、电导率、$HCO_3^-$ 和 $Ca^{2+}$ 的浓度则同时下降.

阵雨后，高水位持续时间长，故雨水的稀释效应[4]是上述现象的一种解释. 但降水产生的水动力效应也有力地推动了上述现象的发生. 雨水改变了水的流态，原束流或层流突然转变为跌流从而使泉水水位升高. 据伯诺里方程，水的流速与其压力成反比，当流水形成跌流时，因流速加快水体压力减小，从而使 $CO_2$ 迅速从水体中逸出，发生碳酸钙沉淀，最终导致泉水中 $Ca^{2+}$ 和 $HCO_3^-$ 突然减少，使泉水中的电导率迅速降低.

## 3　结论与讨论

（1）在金佛山岩溶地区，泉水的物理化学特征对降雨有一种直接的响应. 降雨发生后，泉水水位显著上升；水中的 pH 值、电导率、$HCO_3^-$ 和 $Ca^{2+}$ 等浓度却下降并呈现一定的变化规律，并且滞后降雨一定的时段. 降雨停止后，泉水的物理化学特征呈现无规则的变化. 泉水的物理化学特征对降雨的这种响应说明了水动力条件也控制了岩溶化学的变化动态.

根据表 1，碧潭泉水中的方解石饱和指数（$SI_C$）和白云石饱和指数（$SI_D$）都大于零，泉水与 $CaCO_3$ 和 $CaMg(CO_3)_2$ 处于过饱和状态，产生 $CaCO_3$ 和 $CaMg(CO_3)_2$ 沉淀. 根据化学反应方程式：

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \rightleftharpoons CaCO_3 \Downarrow + H_2O + CO_2 \Uparrow,$$

$$Ca^{2+} + Mg^{2+} + 4HCO_3^- \rightleftharpoons CaMg(CO_3)_2 \Downarrow + 2H_2O + 2CO_2 \Uparrow,$$

当反应向右进行时，$HCO_3^-$、$Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 的浓度迅速下降. 当降雨发生时，土壤中植物根系呼吸作用产生的 $CO_2$ 及微生物的生物化学作用产生的腐殖酸[5]强烈地溶解于水中，从而使泉水中的 pH 值突然降低. 从图 3 可知，阵雨过后泉水中的 pH 值突然二次降低到最低点.

（2）碧潭泉水的物理化学特征呈现周期性的日变化的主导因素是泉水的温度. 白天水温高，泉水的 pH、电导率就增高；晚上水温低，泉水的 pH、电导率就变低.

（3）泉水的物理化学特征的变化动态反映了岩溶地区岩溶作用的强弱，同时也为探究大气中的 $CO_2$ 汇源关系及其反映的全球环境变化提供了一种新的尝试.

## 参考文献


[1] 王必浓，王瑛. 国家重点风景名胜区——金佛山[M]. 成都：四川科学技术出版社，1990.

[2] Wigley T M L. WATSPEC：Computer Program for Determining Equilibrium Speciation of Aqueous Solutions[M]. London：British Geomorphological Research Group，1997：1－48.

[3] Liu Z，Chris Groves，Yuan D. South china karst aquifer storm－scale hydrochemistry[J]. Ground Water，2004，42(4)：491－499.

[4] 刘再华，李强，汪进良，等. 桂林岩溶试验场钻孔水化学暴雨动态和垂向变化解译[J]. 中国岩溶，2004，23(3)：169－176.

[5] 申献辰. 天然水化学[M]. 北京：中国环境科学出版社，1994：39－42.


# Physical-Chemical Characteristics of Jinfushan Karst Spring in Chongqing


WU Kong-yun[1]，HE Xun-yang[2]，LUO Hua-biao[3]

（1. *Institute of Karst Geology*，*CAGS*，*Guilin* 541004，*China*；

2. *Institute of Subtropical Agriculture*，*CAS*，*Changsha* 410125，*China*；

3. *Team* 217 *of Hunan Geological Exploration Bureau for Non－ferrous Metal*，*Hengyang* 421001，*China*）



**Abstract**：The methods of MultiLine P3，field measurement and water samples test of the main ions are used. The physical-chemical characteristics of Bitang karst spring water are investigated. It is found that temperature，conductance，and pH of water are respectively 14.65℃，350μS/cm and 7.70 in daylight，while 14.53℃，320μS/cm and 7.62 at night. It shows obviously periodical variation. Lunar variable trends for physical-chemical characteristics of spring water directly respond to rainfall. The hydrodynamic and dilute effect of the rainfall synchronously influences temperature，conductance，pH and concentration variations such as $Ca^{2+}$，$HCO_3^-$ etc for spring water. Physical-chemical characteristics of the Bitang karst Spring show diurnal and lunar variation.



**Key words**：karst spring water；physical-chemical characteristics；variable trend；Jinfushan；Chongqing