第 19 卷 第 4 期 中 国 岩 溶 Vol 19 No. 4
2000 年 12 月 CARSOLOGICA SINICA Dec 2000

文章编号: 1001- 4810(2000)04- 0315- 06

广西资源县车田湾热泉水化学和同位素特征研究*

何师意[1], 刘金荣[2], 韦 专[2]
(1. 国土资源部岩溶动力学开放研究实验室, 桂林 541004; 2. 广西地质环境监测总站, 桂林 541004)

摘 要: 本文通过多种方法对车田湾热泉的水、热来源和循环途径进行了探索性的研究, 除采用综合地质及同位素分析方法外, 还引入了近年发展起来的碳循环研究方法。结果显示: 该区热泉(群)的水来源于大气降雨; 碳同位素分析结果则显示, 热水中碳的来源与深部关系不密切; 钻孔测井资料显示, 水、热的强循环深度在 60m 和 80~ 100m。由于各泉或钻孔所处的岩性、地质构造和水文地质条件不同, 因此它们在水化学及其动态特征、同位素特征等方面具有一定差异。

关键词: 热泉; 水化学; 碳同位素; 广西资源县
中图分类号: P641. 25 **文献标识码**: A

1 基本地质背景

1. 1 地层

第四系(Q): 主要为残坡积、洪积和冲积物。白垩系(K): 为紫红色砾岩、底砾岩和粉砂质泥岩, 含少量硅质岩。中泥盆统东岗岭组(D_2^2d): 底部为泥质灰岩夹钙质页岩。上部为灰黑色白云岩、白云质灰岩、灰岩。下泥盆统郁江组(D_1y): 为暗红色砾状构造厚层砂岩和细砂- 泥质粉砂岩。寒武系(∈): 为灰绿色不等粒砂岩和炭质页岩。侵入岩: 本区有两期, 一期为加里东期花岗岩(γ_3), 一其为燕山期花岗岩(γ_5^3)。前者为灰白色- 灰色中粒斑状花岗岩, 大面积分布在本区东部、东北部及东南部外围, 属越城岭岩体的西侧; 后者为肉红色、灰红色中粒花岗岩, 仅呈小岩体出露于研究区内。露头见于白垩系、寒武系和断裂硅化带中, 零星分布。

1. 2 构造

在区域上, 本区属华南准地台桂北台隆越城岭断褶带。广西褶皱运动形成NNE 向背斜, 并有大规模岩浆活动, 花岗岩沿背斜轴部呈岩基产出, 即本区东部的越城岭岩体。

受区域构造格局影响, 研究区断裂构造发育。主要有两组: 一组为近南北向展布的资- 新大断裂(F1); 另一组断裂构造为白石背- 冷源断裂(F2)。断裂西端走向为NWW, 中部近东西

* 作者简介: 何师意(1966-), 男, 副研究员, 岩溶环境学。地址: 广西桂林市七星路 50 号, E-mail: hsych@yahoo. com
收稿日期: 2000- 07- 13

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

向, 东端为NEE 向, 呈微弧形展布, 断裂倾向北, 倾角 60°～ 89°。该两大断裂构造为热泉的水热向上运移提供了基本条件, 是热泉形成和分布的主要控制因素。

1.3 水文地质特征

研究区内热水依其产状可划分为两种类型: 一是上升热泉, 以车田湾村温泉泉群和车田湾河河床呈分散产出的温泉为代表; 二是自流钻孔热水, 以ZK2 和 103 孔最典型。前者流量一般在 0.22～0.38 l/s, 流量最大者为 4.22 l/s。水温在 30～31℃之间, 年变幅小于 2℃。水化学类型以HCO_3-Ca 型为主。后者热水多以承压水出露, 据已有钻孔资料显示, 自流钻孔均位于 F1 和 F2 两大断裂交汇部位的 F2 断层硅化石英带及与之相接触的燕山花岗岩中, 且涌水量分布具有成层性。如 ZK2 和 103 孔涌水量最大层位分别为 57～60m 和 86～102m, 水温也达到最高值, 分别为 36℃和 37℃。102m 以下水温有降低趋势, 涌水量增加不明显。钻孔热水水化学类型以HCO_3-Ca·Na 型为主(表 1)。

表 1 水化学分析和计算成果表 (单位: mg/l)

Tab. 1 Results of hydrochemistry

取样日期	地点	水温	pH 值	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	总硬度	水化学类型	SIC	$PPCO_2$
98.12.27	温泉 1	30.5	7.65	1.07	5.90	22.70	2.00	2.10	3.40	87.40	0.00	64.60	HCO_3-Ca	-0.34	2.67
98.12.27	ZK2	34.8	8.41	0.77	7.60	16.90	0.90	4.20	1.60	62.20	1.20	45.50	HCO_3-Ca·Na	0.20	3.57
98.12.27	103 孔	35.5	8.37	0.67	7.20	16.40	1.20	4.20	4.00	62.20	2.40	41.00	HCO_3-Ca·Na	0.16	3.52
98.7.30	ZK2	34.8	7.04	0.90	7.90	13.10	0.90	3.60	4.40	45.10	0.00	34.00	HCO_3-Ca·Na	-1.38	2.31
98.7.30	温泉 1	30.5	7.40	0.90	4.90	19.60	4.60	3.60	2.40	76.30	0.00	56.10	HCO_3-Ca	-0.71	2.48

注: 水化学分析结果来自广西地质环境监测总站。水温为年平均值。

研究地区内地表水基本可分为东西两个系统, 以研究区西部的狮子岩分水岭为界, 其西部地表水排入资江, 其东部(地热异常区)地表水排入车田湾河后进入资江(图 1)。降雨是研究区地表水的唯一补给源, 降雨与热泉的补给关系如图 2。

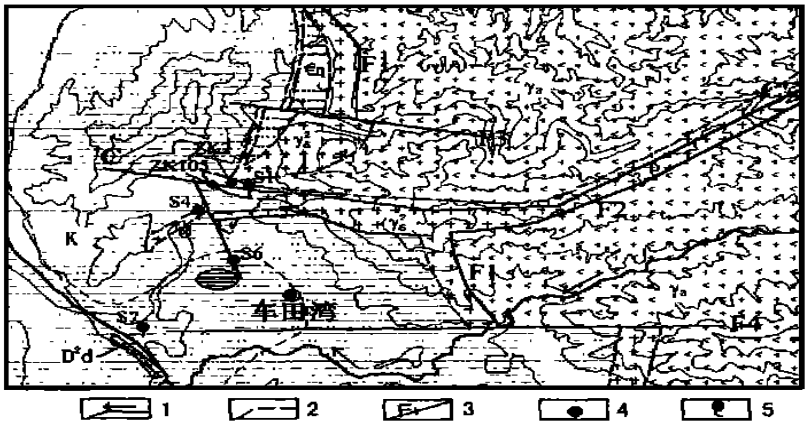


图 1 研究区水文地质略图

Fig. 1 The sketch map of hydrogeology

1. 河流; 2. 地层界线; 3. 断层; 4. 钻孔; 5. 泉

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

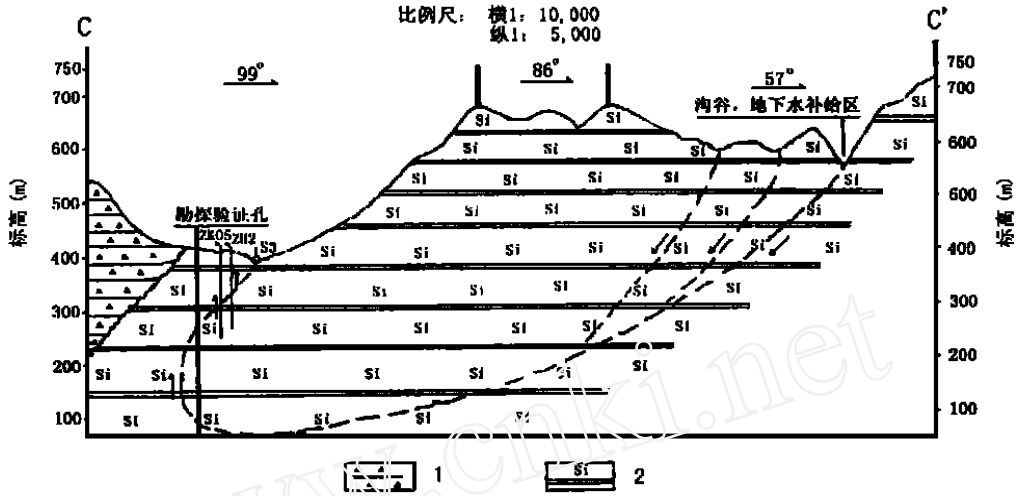


图 2　自流钻孔水、热补给模式图(C- C 地质剖面)

Fig. 2　A model of water and geothermic energy circulation in boreholes and hot springs

1. 角砾岩; 2. 硅质岩

另外, 以车田湾桥泉为代表的冷水泉, 补给主要来自研究区东南部零星出露的石灰岩区, 其水化学具有典型的岩溶泉特征。

2　研究水点的水化学及同位素特征

本专题运用现场测定和采样室内分析相结合, 对研究水点的主要水化学指标, 如水温、pH 值、电导率、HCO_3^- 浓度作现场测量, 并采水样作室内水化学简分析, 分枯季和雨季采集主要水点碳、氢、氧同位素样两组。共取 $\delta^{13}C$ 样 12 个, 其中水样 10 个, 岩样 1 个, 气体样 1 个。取 $\delta^{14}C$ 年龄样 1 个。取 δD 和 $\delta^{18}O$ 样各 21 个, 其中雨水样 11 个, 泉水样 8 个, 地表水样 2 个, 泉水和地表水样作了氚分析。

2.1　水化学特征分析

分别在枯季和雨季两次对主要研究水点作了现场测试, 结果显示: ZK2 和 103 孔与车田湾村温泉相比较, 钻孔水具有较低的 HCO_3^- 浓度(分别为 48、80 和 42、70 mg/l)及较低的电导率(分别为 95 和 87 μs/cm), 但水温和 pH 值较高。钻孔水水温两个季节差别不大(年变幅小于 1℃), 但温泉水温年变幅相对大些(年变幅 1～2℃)。现场测试结果与水化学分析结果(表 1)吻合。两方面成果反映出研究水点具有如下特征:

(1) 钻孔水水温高, 年变幅小, 说明其循环深度较大。枯季钻孔水 pH 值较高, 且检出 CO_3^{2-} 离子, 其方解石饱和指数(SIC)大于 0, 说明深部循环水处于相对封闭环境中或运动速度较慢, 这与枯季上游补给水量小、水头低有关。

(2) 对比雨季和枯季结果可以发现, 钻孔水的 pH 值和 SIC 指标在雨季明显降低, 说明与降雨过程关系密切, 这可能是由于降雨通过裂隙或断层垂向补给钻孔水(自流泉)造成的。

(3) 车田湾村泉(温泉 1)水温年变幅相对较大, 且在雨季和枯季其 pH 值均较低, 反映该泉循环深度相对较小。其水样中 Ca^{2+} 浓度和总硬度较高, 说明泉水可能与碳酸盐岩有关。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(4) 尽管温泉水化学特征受降雨影响, 但其水温年变幅较小(均不超过 2℃)。说明泉水循环通道中具有稳定的热源。研究区氡测量结果也显示, 温泉多出露于氡异常区。

(5) 研究区西南部的车田湾桥头泉, 其水化学特征则与区内温泉有明显不同。主要表现在: 水温低, 为 19.6℃, 且受气温影响明显; HCO_3^- 浓度和电导率高, 分别达 225.70 mmol/l 和 318μs/cm。总之, 该泉具有典型的浅埋型岩溶泉的水化学特点。

2.2 热水、温泉的碳氢氧同位素特征及其与降雨的关系

2.2.1 热水的碳同位素特征

碳稳定同位素分析结果显示, 热水的 $\delta^{13}C$ 值在-12.42‰～-18.72‰之间, 地表水 $\delta^{13}C$ 值为-21.38‰, 场区所采集的气体样的 $\delta^{13}C$ 值为-16.23‰。说明研究区热水中碳的来源与深部关系不密切。本区热水中的碳主要有两个来源: 一是地表与生物作用有关的碳, 二是降雨溶解大气中的 CO_2。从热水枯季的 $\delta^{13}C$ 值略比雨季高可以看出, 通过降雨带入热水的碳组分占更大比例, 说明雨水是热水的主要补给来源。而车田湾桥头泉具有比热水、温泉更高的 $\delta^{13}C$ 值, 这说明该类泉除与降雨有关外, 还与泉水溶蚀碳酸盐岩有关, 碳酸盐岩具有更高的 $\delta^{13}C$ 值, 为 1.05‰。

仅有的一个 ^{14}C 测年结果显示, 103 孔热水年龄为 1510±160a。由于未能采到更多样品作相互验证, 因此, 该年龄只能作为参考。热水的年龄问题仍需作进一步研究。从热水的水文地质和水化学变化特征看, 热水年龄似乎没有这么大。

2.2.2 氢氧同位素分析结果

研究区雨水、热水和泉水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 呈现如下特点: (1) 降雨的 δD 和 $\delta^{18}O$ 枯季均较高, 雨季则明显降低。δD 年变化范围在 1‰～-88.40‰之间, 平均值为-28.96‰; $\delta^{18}O$ 年变化范围在-0.52‰～-12.94‰之间, 平均值为-5.38‰。(2) 热水、泉水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 则表现出相对稳定的特点, 枯季和雨季变化不明显。δD 变化范围为-31.70‰～-45.50‰, 平均值为-39.80‰, $\delta^{18}O$ 变化范围在-5.21‰～-7.79‰, 平均值为-6.68‰。(3) 热水和泉水氚值(δT)较低, 均不超过 8TU。

上述氢氧同位素特征及其变化与资源县所处的地理环境是相互联系的。资源县位于桂林地区东北部, 同时受到西伯利亚寒潮和太平洋暖湿季风气候影响。其北部为南岭山脉, 南来的太平洋暖湿气流到此受阻挡, 形成南面迎风坡降雨, 地面及其附近空中气温高, 蒸发强烈, 导致地方性降水增加, 蒸发-凝结-蒸发过程的反复进行, 造成氢氧同位素分馏, 使得雨水中 δD 和 $\delta^{18}O$ 降低。而在枯季情况则不同, 气候主要受到北来的西伯利亚寒流的影响, 资源县南面为猫儿山(海拔 2142m)阻挡寒流, 使气流下降, 到达地面时, 因地面温度较高, 使部分水滴蒸发, 导致雨水中 δD 和 $\delta^{18}O$ 升高。

已有结果显示, 1983～1985 年间桂林地区降水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 分别为-33.70‰和-5.97‰(刘东生等, 1987), 本研究中测得资源县降水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 分别为-28.96‰和-5.38‰。两者对比, 资源县稍高。这主要是由于资源县地处猫儿山北面, 太平洋暖湿气流对其影响较桂林地区东南部稍弱。相反, 北来的西伯利亚寒潮对其影响稍强, 而且资源县处于相对封闭的气候环境, 地方性降雨成分更多。

热水、泉水氢氧同位素表现出相对的稳定性, 一方面说明它具有区域性的特点, 水在含水介质中混合充分; 另一方面说明水的运移和循环过程相对较长, 具有一定的埋藏深度。因此, 直接受降雨中同位素的稀释作用较弱, 热水对降雨补给有较长的滞后过程。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热水、泉水氚值较低, 与桂林地区雨水氚值(不超过 7Tu)较为一致。从这一结果我们虽不能对热水年龄的新或老作出结论, 但至少说明热水与地区性雨水间具有较好的相关性。桂林地区降水属远离海岸、经过多次冷凝和蒸发过程的降水, 它具有氚值较低的特征。

根据实测结果得出, 研究区雨水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 有如下关系:

$$\delta D = 8.4181\delta^{18}O + 16.3428$$

相关系数为 0.9925, 样本数为 11。δD 和 $\delta^{18}O$ 的关系如图 3。

刘东生等(1987)测得整个桂林地区雨水线为:

$$\delta D = 8.9\delta^{18}O + 20$$

1961 年 Craig 提出全球雨水线为:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10$$

1980 年郑淑惠等得到全国雨水线为:

$$\delta D = 7.9\delta^{18}O + 8.2$$

对比上述各不同范围雨水线公式可知, 本研究区所获结果与桂林地区雨水线较为接近。但有所偏离, 这与局部气候状况有所差异有关。因此认为, 通过 11 个雨水样所得到的研究区的雨水线是能代表本区 δD 和 $\delta^{18}O$ 特征的。

将热水、泉水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 测试结果投影到雨水线上可以看出, 枯季和雨季的采样测试结果均落在雨水线上(图 3)。因此, 可以认为雨水是热水、泉水的唯一补给来源。这一结论与前面用水化学分析方法得到的结论是一致的。

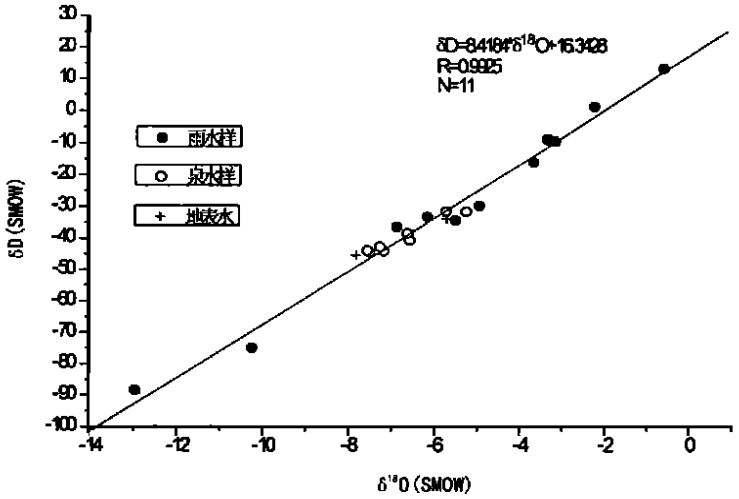


图 3　研究区雨水和泉水氢、氧同位素关系曲线

Fig. 3　Isotopic relationship between rainfall and hot spring water

3　结　论

通过上述研究我们认为:

(1) 热泉分布与断裂构造活跃带(氡异常带)一致。因此, 热泉的热来源与下伏花岗岩岩体和断裂活动有关;

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(2) 大气降雨是热泉的唯一补给源。雨水主要通过断裂构造和深切割带(深切河谷)下渗,补给热泉。

(3) 钻孔测井和抽水试验结果显示,强循环带分别在 60m 和 80～100m,在该两个深度上水温和水量均达到最大值。

参考文献:

[1] 刘东生,陈正明等. 桂林地区大气降水的氢氧同位素研究[J]. 中国岩溶,1987,6(3):225-231.

[2] 何师意,潘根兴等. 表层岩溶生态系统碳循环特征研究[J]. 第四纪研究,2000,(4).

[3] 刘再华,袁道先,何师意. 不同岩溶动力系统的碳同位素和地球化学特征及意义[J]. 地质学报,1997,71(3):281-287.

[4] 何师意,徐胜友,张美良. 岩溶土壤中CO_2浓度、水化学观测及其与岩溶作用关系[J]. 中国岩溶,1997,16(4):319-323.

[5] 陈锦石,陈文正编著. 碳同位素地质学概论[M]. 地质出版社,1983,48-53.

A STUDY ON HYDROCHEMISTRY AND ISOTOPE OF THE GEOTHERMIC SPRINGS IN ZIYUAN COUNTY, GUANGXI

HE Shi-yi[1], LIU Jin-rong[2], WEI Zhuan[2]

(1. *The Karst Dynamic Laboratory, MLR, GuiLin* 541004, *China*;
2. *Geological Environment Monitoring Station of Guangxi, Guilin* 541004, *China*)

Abstract: Through the geological, hydrogeological, tectonic and isotopic analysis, we have made a study on water and heat sources and circulation processes of some geothermic springs in Ziyuan county, Guangxi. The results show that rainfall is the only source of hot spring water, and the distribution of the springs have a close relationship with the geological structure which enables the the geothermic energy to transport upward. The results of physical measurement to the bore holes indicate that the most active circulation depth of the springs is 60～100m where we measured water temperature and quantity. The hydrochemical data show that there are some hydrochemical, dynamic and isotopic differences among these geothermic springs.

Key words: Geothermic spring; Hydrochemistry; Carbon isotope; Ziyuan county of Guangxi

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net