

# 贺州大汤温泉的形成条件及其水化学特征\*

## Forming Conditions and Hydrochemical Characteristics of Datang Hot Spring, Hezhou City

吴伟志, 莫燕娟, 黄丽霞, 蓝俊康\*\*

WU Wei-zhi, MO Yan-juan, HUANG Li-xia, LAN Jun-kang

(桂林理工大学环境学院, 广西桂林 541004)

(College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

**摘要:**为了合理开发和保护贺州市南乡镇大汤温泉资源,通过对温泉区地理环境和地质条件的分析来探讨温泉的形成条件,并对温泉水质的化学成分进行测定。贺州市南乡镇大汤地热田是一个带状热储,区域内的几条深大断裂构成其地下热水储热和深循环通道。该温泉以大气降水补给为主,补给区为周边分水岭。由于分水岭的地势较高,地下水在获得降雨补给后,有足够的水头压力沿着构造断裂实现由浅至深再由深至浅循环。在循环过程中,地下水通过热传导从深部地壳中获得热量,并通过与围岩发生的地球化学作用而获得丰富的微量元素。水化学分析表明,南乡温泉出露的热水不仅矿化度低、且富含氟、含偏硅酸和多种有益的微量元素,其氟和偏硅酸含量可达矿水命名标准,具有很高的医疗价值。

**关键词:**温泉 成因 水化学特征

中图法分类号:P314.1 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2013)04-0230-05

**Abstract:** In order to reasonably develop and protect the hot spring resources of Datang geothermal field in Nanxiang town of Hezhou city, the formation of hot spring based on the analysis of geographical and geological conditions, and the chemical composition of water is studied and analyzed. Datang geothermal field is a zoned reservoir. Several deep and large fractures in the region form the transportation conduit and storage space for the hot water. Rainfall is the main water resource of the hot spring and the watershed around the spring is its recharge area. Due to the high hypsography of the watershed, the groundwater can circulate from shallow aquifer to deep fractures by high water pressure. During the circulation, the groundwater obtains heat from deep strata through heat convection. Moreover, a series of complex geochemical reactions between ground water and deep rocks results in a lot of trace elements dissolved into the hot water. Hydrochemical monitoring data indicates that the hot water is rich in fluorine, metasilicic acid and various beneficial trace elements but low TDS. The concentrations of the fluorine and metasilicic acid in the hot water both reach the standard of mineral water, which indicates the hot spring is suitable for balneotherapy.

**Key words:** hot spring, forming conditions, hydrochemical characteristics

贺州大汤温泉位于广西贺州市八步区南乡镇,

该温泉水无臭、无味、无悬浮物,泉水中氟、偏硅酸含量较高,已达矿水的命名标准。此外,该泉水还含有多种对人体有益的微量元素( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{3+}$ ,  $\text{Se}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mo}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Al}^{3+}$  等)。其矿化度为  $140\sim 220\text{mg/L}$ ,总硬度为  $1\sim 19.17\text{mg/L}$ ,属于低矿化度、低硬度、重碳酸盐型的优质热矿泉水。

由于地热温泉的开发可促进当地的经济和旅游业的发展,为了合理地开发和保护好这一珍贵的绿

收稿日期:2013-04-29

修回日期:2013-05-10

作者简介:吴伟志(1991-),男,在读本科生,环境工程专业(水文地质工程地质方向)。

\* 桂林理工大学环境学院 2012 年度本科生科研创新基金项目资助。

\*\* 通讯作者:蓝俊康(1966-),男,博士,教授,主要从事水文地质工程地质研究。E-mail:lanjk@163.com。

色资源,开发前需对该地热田的地热资源进行勘察,并对泉水化学成分进行评价,以便深入地研究该地热田的地热地质条件,包括热储、控热和导热构造等特征。

## 1 地热田形成的环境地质条件

### 1.1 地形地貌与气象水文特征

南乡大汤温泉位于西水主干流——南乡河(当地亦称杉木冲)的中游两岸,区域内的基岩为花岗岩,由于风化层深厚,基岩的裸露面积很小,以花岗岩剥蚀地貌为主,小部分被洪积砂砾层或河流冲积层覆盖,属于中低山剥蚀地貌。

温泉三面环山,正好位于南乡盆地内,其地势南高北低。东、南、西三面为标高 570~650m 的低山环绕,其北面为大宁河,地势较低。

大汤温泉区属亚热带季风气候区,受季风影响,四季分明。由于地处低纬度、高海拔地区,区内冬无严寒,夏无酷暑,夏秋季节雨量充沛,尤其在 4~8 月,占全年降水量的 73%,是区内地下水的主要补给期。冬春两季雨量较少,且气候干燥,是地下水的主要消耗期。多年平均降水量 1685.5mm,平均蒸发量 1626.05mm。平均气温 19.2℃,最低气温为 -3.7℃,大于 10℃积温为 5000~6000℃。

大汤温泉位于东西二条溪水的交汇处,总集雨面积 250km<sup>2</sup>。东西二条河水径流稳定,水量丰富。东溪年径流量约  $1.10 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,平均流量为 3.5m<sup>3</sup>/s;西溪集雨面积较大,年径流量为  $1.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,平均流量 4.5m<sup>3</sup>。温泉区位于西溪主干流—南乡河的中游两岸,无工业污染,居民点亦稀少,河水清澈见底,水质优良。地下水水质良好,污染较少,部分地区地下水含氟较高,属高氟区。

### 1.2 地层岩性

泉区内主要的出露地层有第四系全新统河流冲积层(Q<sub>h</sub><sup>al</sup>)、中生代燕山期花岗岩( $\gamma_5$ )及古生代加里东期花岗闪长岩( $\gamma\delta_3$ )。

第四系全新统河流冲积层(Q<sub>h</sub><sup>al</sup>):主要分布于南乡河两岸,由砾石、砂和粘土组成,厚度 10~40m,岩性和厚度与剥蚀区基岩的岩性以及河流切割冲刷作用的强弱有关。

中生代燕山期花岗岩( $\gamma_5$ ):岩性为中、粗粒黑云母花岗岩和中粒斑状角闪石黑云母花岗岩,绝对年龄约 1.3 亿年。

古生代加里东期花岗闪长岩( $\gamma\delta_3$ ):岩性为花岗闪长岩和石英闪长岩<sup>[1]</sup>,绝对年龄约 4.45 亿年。其

南部岩体被中生代花岗岩侵入,接触变质作用明显,蚀变带宽 100~1000m,有硅化、角岩化、绢云母化、花岗片麻岩化。硅化带一般宽数十米,有时见黄铁矿浸染。绢云母化片岩和花岗片麻岩的片理货片麻理大致平行于接触面。

### 1.3 地质构造

在地质分带上南乡隶属于华南准地台上,也处于桂湘赣褶皱带南缘与华夏褶皱带之过渡地带,该区域曾经历多次构造运动,其中加里东、燕山为强烈的造山运动影响最甚<sup>[2]</sup>。加里东运动以褶皱构造为主,断裂次之,并伴随花岗闪长岩基侵入。燕山运动以断裂为主,褶皱次之,岩基有花岗岩、石英斑岩小岩株侵入。

温泉热异常带的构造断层主要有南北向压性断裂、北东向压扭性断裂及东西向的羽状张性断裂。

南北向压性断裂:即大寨—代罗压性断裂,南起订情山,经大寨、大汤、水楼、代罗至香花岭止,全长 12.5km,呈南北向,倾向东,倾角 85°。南乡河(西水)基本沿断裂走向形成,断裂带大部分被冲洪积物掩盖。大汤村南 300m 乡路旁见断裂露头,可见石英脉宽 0.8m,石英脉旁侧可见断层泥及片理发育,破碎带宽度 10~15m,影响带 20~30m,可见小的错动擦痕。

北东向压扭性断裂:由 3 条断裂组成,分别为西溪—石角压扭性断裂、白鸪—代潭压扭性断裂和那旱—大寨压扭性断裂等。这 3 条断层均被后期的流水作用改造成冲沟,地表大部分被冲洪积物覆盖。白鸪口春西 300m 公路旁可见白鸪—代潭压扭性断裂,倾向南东,倾角 75°。该断层的破碎带宽 20m 左右,糜棱岩带宽 0.3m,糜棱岩已强烈硅化。

### 1.4 水文地质条件

#### 1.4.1 地下水的赋存情况

流域内赋存 3 种类型的地下水:

(1)第四系松散岩类孔隙水:分布于南乡圩、大宁圩和福堂圩一带的河流的第四系全新统河流冲积层(Q<sub>h</sub><sup>al</sup>)内,含水介质为砂砾石层、砂质粘土层,厚度为 1~15m,钻孔单位涌水量为 10~15m<sup>3</sup>/(d·m),富水性中等。

(2)花岗岩风化裂隙水:分布于花岗岩中风化—弱风化带内。据钻探揭露,该层岩性为中风化—弱风化中粗粒斑状花岗岩,分布范围(据勘探钻孔大汤 ZK1)为地下 20.5~30.2m。又据 1:20 万水文地质图,此类地下水径流模数为 0.8~1.3 L/(s·km<sup>2</sup>),富水性差。

(3)花岗岩断层带裂隙水:据1:20万水文地质图推测,断层带裂隙水主要分布于大寨-代罗压性断裂与北东向压扭性断裂交汇处。据勘探ZK2钻孔揭露,地下28.3~29.7m段富含角砾岩和断层泥。该类水具承压性。

1.4.2 地下水的补给、径流和排泄特征

地热异常带的地下水主要以大气降水补给为主,补给区为周边分水岭,分水岭标高为524~670m不等,如南侧的将军山标高为670m,如从更大区域来看(图1),大区域分水岭的标高在1007~1571m之间。此外大宁岩体的东西两侧还可接受从基岩山区流入的地表水补给。

径流和排泄特征:地下水在分化网状裂隙中呈无压潜水状储存;部分浅部裂隙水在运动中遇断裂构造点、破碎带继续往下渗透达地下深处,并经深部热源加温和驱动,沿着有利的通道向上运移,最终以上升泉形式排泄。

2 温泉水出露特征及成因分析

2.1 泉水的出露特征

南乡镇大汤温泉出露于南乡河岸边冲洪积层中。出露区地面标高约为370~405m,周围有多座标高为480~650m不等的山岭环绕,形成低山分水岭,总体地势为南高北低。

南乡镇大汤温泉出露区表层土为第四系全新统河流冲积层或洪积砂砾层,厚度为数米至十余米,砂砾层下部为基岩风化层,其基岩为中生代燕山期黑云母花岗岩(金鸡顶岩体)。在构造上,该温泉位于大寨-代罗压性断裂与北东向压扭性断裂组交汇处,泉水从花岗岩断裂带中涌出后,经基岩风化层和冲洪积层以上升泉形式排出地表。

南乡镇共有6处温泉,均出露于近南北向的南乡河至大宁河一带,如将广东怀集县蓝钟镇双兴温泉也考虑在内,则出露范围南北长约24km,东西宽约8km,热异常范围约为192km<sup>2</sup>。所有的泉水都是从断裂与花岗岩接触部位涌出,每一处温泉都有多个出露点,涌出的温泉具有翻沙、冒泡现象,自流量在0.05~2.22L/s。

2.2 泉水的成因分析

南乡温泉群为降水入渗补给,温泉区与周围分水岭地势高差较大,出露区地面标高仅400m左右,而周边较近区域的分水岭标高为524~670m不等,如南侧将军山的标高为670m,如从更大区域来看(图1),四周分水岭的标高在1007~1571m。山顶

与地面高差达到1000m,使得地下水有足够的水头压力,沿断裂交汇处上升至地表。

2.3 热储构造分析

(1)热储:花岗岩断层带裂隙水,其岩性主要为断层角砾岩和断层泥,此类水具承压性。

(2)热储盖层:本地热田为地热对流型的带状热储,无需盖层。

(3)热流体通道:区域内有两条较大断裂,其一为龙水逆断层,该断层倾角陡(倾向东,倾角80°),断裂发育深(错断寒武系、加里东期岩体,南端切过中生代燕山期岩体),长度大(属区域性大断裂,全长18km)。其二为大寨-代罗压性断裂,该断裂全长12.5km,倾角85°,倾向东,错动加里东期岩体和燕山期岩体,与三条北东向压扭性断裂相交。正是区域内的深大断裂构成了地下热水深循环的通道<sup>[3]</sup>。

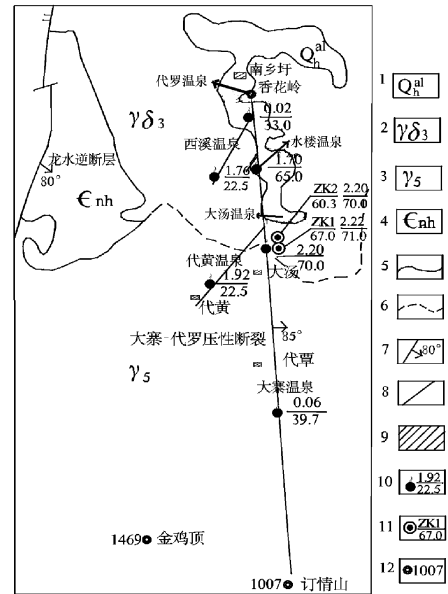


图1 南乡温泉水文地质图

1. 第四系全新世河流冲积层;2. 加里东期花岗岩;3. 中生代燕山期花岗岩;4. 寒武系水口群地层;5. 岩层界线;6. 两期花岗岩接触界线;7. 断层倾向及倾角;8. 压扭性断裂;9. 居民点;10. 上升泉,(分子:流量,L/s;分母:水温,℃);11. 温泉钻孔,(分子:编号;分母:孔深,m);12. 高程点,m。

(4)热源。包括两方面:①南乡地热田处于古生代加里东期侵入岩与中生代燕山期侵入岩交汇处,两者的余热和岩体中的放射性元素衰变所产生的热能,以及构造运动的摩擦热量为地下水形成提供了热源。②来自于深部的大地热流,是地热增温的结果。如按地热增温经验公式推算:

$$H = g(T_h - T_b) + h \quad (1)$$

式中:  $g$  —地热增温级,按3℃/100m计;  $T_h$  —矿泉水温度(取观测水文年的平均值);  $T_b$  —一年平均

温度,取 19.2℃;  $h$  —恒温带深度,取 24m。

根据(1)式可推算出南乡温泉群中,大汤矿泉水的循环深度为 2965m,水楼矿泉水的循环深度为 3668m,西溪矿泉水的循环深度为 3404m。

### 3 水温及水化学特征

#### 3.1 水温的变化特征

根据大汤温泉勘探孔 ZK1 的近一个水文年的观测资料(图 2)可见,大汤温泉钻孔 ZK1 的出水水温为 69.5~72.5℃,年平均为 70.9℃,最大变幅为 3℃,仅为年平均水温的 4.2%,十分稳定。按《地热资源地质勘察规范》(GB11615-2002),该地热资源按温度分类,则为低温地热资源中的热水类;如医疗矿泉水的温度分类则属高热矿泉。水温较高且恒定反映了该温泉地下水属于深循环成因。

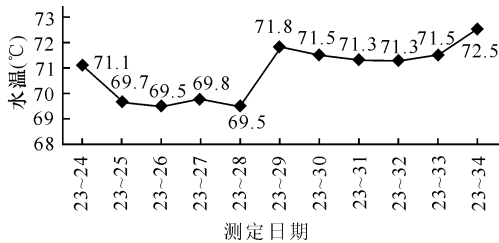


图 2 2006 年 11 月大汤温泉钻孔水温动态变化曲线  
注:水温数值为多次测得值的平均值。

#### 3.2 常规组分含量

对大汤温泉泉水在枯水期、平水期和丰水期的水化学分析表明,温泉水中的  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  及  $HCO_3^-$  等常规组分在一个水文年中的含量变化虽有所波动,但总体上还较为稳定(表 1)。此外,据表 1 可见,大汤温泉水中的各种离子组分的含量都比较低,尤其是矿化度不高,仅为 139~161.71mg/L 之间,为低矿化度水。总硬度在平、丰水期平均值为 30.06mg/L,为低硬度矿泉水。

表 1 大汤温泉常规组分含量检测表 (mg · L<sup>-1</sup>)

项目	2006-12-07 (枯水期)	2007-06-30 (平水期)	2007-09-14 (丰水期)
Na <sup>+</sup>	19.71	15.30	19.52
K <sup>+</sup>	0.88	1.30	1.35
Ca <sup>2+</sup>	4.35	3.70	7.01
Mg <sup>2+</sup>	<0.01	0.071	0.15
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	38.10	57.55	51.07
Cl <sup>-</sup>	1.00	1.22	1.43
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5.93	5.15	4.03
可溶性总固体	139.00	145.50	161.71
总硬度 (以 CaCO <sub>3</sub> 计)	<1	26.50	40.06

表 1 还显示,大汤温泉水在枯、平、丰水期中,阳

离子以  $Na^+$  和  $Ca^{2+}$  占优势,阴离子中以  $HCO_3^-$  占优势,大汤温泉水水质类型属  $HCO_3^-Na \cdot Ca$  型水。

#### 3.3 特殊组分含量

对大汤温泉水的水化学成分监测表明,大汤温泉水中富含偏硅酸和氟,同时还含有  $Li^+$ ,  $Sr^{3+}$ ,  $Mo^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Se^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  和  $Al^{3+}$  等特殊组分(表 2)。

表 2 大汤温泉特殊组分含量检测表 (mg · L<sup>-1</sup>)

特殊组分	2006-12-07 (枯水期)	2007-06-30 (平水期)	2007-09-14 (丰水期)
偏硅酸	75.00	66.40	81.23
氟	3.07	2.59	2.70
Li <sup>+</sup>	0.051	0.058	0.057
Sr <sup>3+</sup>	0.051	0.026	0.021
Mo <sup>2+</sup>	0.019	<0.01	0.051
Zn <sup>2+</sup>	<0.01	<0.01	<0.01
Se <sup>2+</sup>	<0.01	<0.01	<0.01
Cu <sup>2+</sup>	<0.01	<0.01	<0.01
Mn <sup>2+</sup>	<0.01	<0.01	<0.01
Al <sup>3+</sup>	<0.01	<0.01	<0.01

表 2 显示,大汤温泉水中的偏硅酸含量为 66.4~81.23mg/L,其中平水期含量稍少,丰水期含量较高,年变幅 14.83mg/L,为平均值的 20.0%,仍比较稳定。

大汤温泉偏硅酸浓度以最小值 66.4mg/L 计,已达国家标准的命名矿水浓度,已属于偏硅酸矿泉水。偏硅酸可增加软骨、结缔组织的弹性和强度,硅能帮助人体结缔组织发展纤维性机构,从而增加其弹性和强度。缺硅可使动物生长迟缓,骨骼异常、畸形(特别是头颅)、牙或牙釉质发育不良。偏硅酸对心血管有保护作用,硅有利于抗动脉粥样硬化可能就是由于硅能起到保持弹力纤维和间质完整性,从而防止粥样硬化斑块的形成。

温泉水中的可溶性二氧化硅高主要是因为温泉水形成并出露的基岩为花岗岩,而花岗岩为酸性岩,其二氧化硅含量达 66% 以上,地下热水在高温高压条件下的循环过程中,逐步溶解岩石中的硅,水中偏硅酸含量高<sup>[4]</sup>。

大汤温泉水中氟含量为 2.59~3.07mg/L,平均值为 2.79mg/L,最大变幅 0.48mg/L,为平均值 17.2%,在枯、平、丰水期变化不大,很稳定。

大汤温泉水中氟含量以最小值 2.59mg/L 计,已达命名矿水浓度标准,属氟矿水。氟在人体内以微量成分存在,它是体内维持骨骼正常发育必不可少的成分,是一种增进骨骼和牙齿强度的元素,适量的摄入氟对预防儿童龋齿是有好处的,但高氟水不

宜让人长期饮用。

温泉水中含氟量较高,间接表明热水经过地下深部循环<sup>[5]</sup>。

#### 4 结论

(1)根据断裂带上的勘探钻孔揭露发现,地表45m以下为完整的花岗岩岩体,岩体渗透性很差。因此,推断南乡地热田呈带状分布。大气降水是南乡温泉的补给来源,补给区为泉域周围的分水岭。降水在远处入渗地下后,经由断裂带等深循环通道进入地下深处被地温加热成热水,并在有利的构造处(断裂交汇处)涌出地表形成温泉。

(2)南乡大汤温泉地区出露的热水为含氟、含偏硅酸、低矿化度、重碳酸盐型热矿水,命名为  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Na} \cdot \text{Ca}$  型水。南乡温泉水质优良,其中对人体有害的物质和元素均未超标。温泉的氟和偏硅酸含量均达命名矿水浓度,有很高的医疗价值。

一般情况下,由于人为活动的影响,特别是抽取地下水 and 污水的排放,会使地下水原有的理化性质发生重大改变<sup>[6]</sup>,而且带状温泉水的热水储量有限,

所以建议在今后的开采过程中务必严格按设计要求来控制开采量,并按环境保护要求设立三级防护带,以确保矿泉水资源不受污染和破坏。

参考文献:

- [1] 钟自云,骆靖中.大宁花岗闪长岩的成因类型与地质特征[J].桂林冶金地质学院学报,1983,4(4):21-32.
- [2] 张岳桥,徐先兵,贾东,等.华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J].地学前缘,2009,26(1):234-247.
- [3] 杨立顺.河北省遵化市汤泉地下热水赋存特征[J].地下水,2011,4(4):11-12.
- [4] 刘金荣,廖志杰.广西温泉的地球化学特征[J].水文地质工程地质,1989(1):8-12.
- [5] 邱剑华.河源地区地热资源特征及成因浅析[J].广东建材,2006,66(9):158-160.
- [6] 吴恒,张信贵,代志宏,等.南宁市地下水化学场分区特征及其主要影响因素[J].广西科学,2000(1):31-35.

(责任编辑:尹 闯)

### 鼻咽癌治疗性疫苗将在广西开展 II 期临床实验

新闻时间:2013-11-20

广西是我国鼻咽癌高发区,其中以苍梧为代表的高发区发病率高达 50/10 万,EB 病毒被认为是与鼻咽癌发病有密切关系的一种疱疹病毒。中国科学院院士曾毅自 1973 年开始,在中国预防医学科学院成立了 EB 病毒与鼻咽癌研究组;1977 年,在自治区政府的支持下,成立了广西鼻咽癌防治研究协作组,携手自治区人民医院、苍梧县鼻咽癌防治所和梧州红十字会医院肿瘤研究所,在广西建立了国际上第一个鼻咽癌防治研究现场,并在苍梧县建立了国际上第一个鼻咽癌现场研究基地。

经过 40 年的研究,协作组在鼻咽癌的预防、早期诊断、临床治疗等方面取得了显著成果,论证了 EB 病毒相关抗体血清学方法在鼻咽癌筛查中的价值,该方法目前仍是鼻咽癌筛查的首选和主要方法,在全球得到推广应用。

此外,相关疫苗的研发也取得了显著进展。协作组在国内率先利用腺病毒作为载体,构建了鼻咽癌治疗性疫苗。该疫苗已获得国家食品药品监管局的批准,在自治区人民医院完成了 I 期临床试验,未发现严重的不良反应,目前准备进入 II 期临床实验。据悉,这种治疗性疫苗可提高鼻咽癌患者相关的细胞免疫功能,减少病情复发可能性。

摘自广西日报