

# 西藏觉拥温泉水化学特征分析

郭宁<sup>1,2)</sup>, 孙会肖<sup>1,2)</sup>, 李皓婷<sup>1,2)</sup>, 刘昭<sup>1,2)</sup>, 男达瓦<sup>3)</sup>

1) 河北地质大学水资源与环境学院, 石家庄, 050031;

2) 河北省水资源可持续利用与开发重点实验室, 石家庄, 050031;

3) 西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队, 拉萨, 850032

**关键词:** 西藏, 觉拥, 温泉, 水化学特征

地热能作为一种清洁能源, 其在城市生态建设方面具有重要意义(张满波, 2008), 引起众多学者的关注。王坤等(2002)指出可利用环境同位素来研究地热水起源。杨连伟等(2018)利用钻孔测温曲线对江西井冈山曲潭地热水地温特征及形成机理进行了分析, 发现由于冷热水比重不同, 冷水下沉, 热水上升, 产生对流, 形成地热系统。常梦瑶等(2017)通过对比正常海水中  $\gamma \text{Na}/\gamma \text{Cl}$ 、 $\text{Br}/\text{I}$ 、 $\text{Cl}/\text{Br}$  比例系数, 对西藏申扎县南部地堑系温泉水成因进行了分析。早在 1976 年, 中国科学院青藏高原综合科学考察队就对昌都地区地热资源进行了考察, 研究区觉拥的水热显示活动以温泉为主。本文旨在通过水文地球化学的方法, 深入了解觉拥温泉的特征, 为进一步开发、利用温泉提供科学依据。

## 1 研究区概况

### 1.1 自然地理概况

温泉位于西藏自治区昌都市东北部江达县青泥洞乡觉拥村境内, 川藏公路 31 道班东 1 km, 主要出露于觉曲河谷两侧。区内属高原亚温带亚湿润气候, 夏季温和多雨, 冬季日照充足, 多年平均温度 4~6℃, 年降水量为 477.7 mm, 集中在 5~9 月。研究区内通有 317 国道, 在江达县青泥洞乡自西向东延伸, 交通十分便利。

### 1.2 地质概况

觉拥温泉位于怒江断裂带东北部所切断的背斜附近, 因以上古生界为核部的青泥洞—海通复背斜被觉拥断层错断而形成(中国科学院青藏高原综

合科学考察队, 1981)。研究区中部分布有一条北西向的张性断裂, 在温泉出露附近沿觉曲河谷还有一条北东向构造, 在两条断层交汇处温泉发育。该区主要出露地层有下奥陶统青泥洞组 ( $O_{1q}$ ) 含铁变质石英砂岩、粉砂岩; 上三叠统波里拉组 ( $T_{3b}$ ) 灰岩; 上三叠统甲丕拉组 ( $T_{3j}$ ) 粉砂质石英砂岩、粉砂质泥岩。觉曲河两岸为第四系冲积物 ( $Q_{h}^{al}$ ) 砂砾石层。觉曲河两侧支沟发育有第四系冲洪积物 ( $Q_{h}^{pal}$ ) 砂砾石层。觉拥泉口周围, 形成钙华泉华台, 直接覆盖在冲洪积砂砾石层上。

### 1.3 水文地质条件

区内主要河流为觉曲, 流量 1914.446 L/s, 温度 5℃。觉曲两侧支沟共计 5 条, 温泉显示区北侧西向东有四条支沟: 色公弄(宗贡曲), 查拢弄, 龙仁弄, 龙动弄, 均由西北向东南汇入觉曲。显示区南侧有一条支沟: 菩萨弄, 由南东向北西汇入觉曲。

地下水含水层类型主要为基岩裂隙水含水岩组、碳酸盐岩岩溶水含水岩组和第四系砂砾石孔隙水含水岩组。基岩裂隙水含水岩组分布于江达县觉拥地热显示区大部分区域, 透水性较弱, 富水性差。主要接受大气降水和冰雪融水的补给, 以地表径流或下降泉的形式排泄于附近沟谷中, 其余以地下径流的形式侧向补给松散岩类孔隙水。碳酸盐岩岩溶水含水岩组分布于江达县觉拥地热显示区北西部, 连通性好, 透水性强, 富水性极好, 主要接受大气降水的渗入补给和基岩裂隙水的侧向补给, 以下降泉的形式排泄于附近沟谷中, 泉流量一般较大。第四系砂砾石孔隙水含水岩组主要分布于江达县觉拥地热显示区觉曲河床和河漫滩砂砾石层及两侧

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号: 41502220)及中国地质调查局项目(编号: 12120114024601)联合资助的成果。  
收稿日期: 2019-01-10; 改回日期: 2019-03-20; 责任编辑: 刘志强。 Doi: 10.16509/j.georeview.2019.s1.011  
作者简介: 郭宁, 女, 1994 年生, 硕士研究生, 地质工程专业, Email: 604253780@qq.com。

支沟第四系堆积层中, 觉曲河床和河漫滩砂砾石孔隙度大, 透水性强, 富水性好; 两侧支沟第四系堆积物较薄, 富水性极差。

觉拥地热显示区北西—南东向张性断层 ( $F_1$ ) 裂隙及次级断裂, 为热水通道, 北东—南西向走滑断层 ( $F_2$ ) 为阻水构造。推测热源来自北西方向, 热水补给来源为深部地下水, 并有不等量浅部地下水混入, 热水沿断层通道运移并涌出地表, 形成地表温泉, 热水流出后直接汇入觉曲河。

## 2 数据采集

本次选取了三处出露条件较好的温泉进行样品采集 (采样点位置见图 1), 并进行现场温度测试。为了与温泉水进行对比, 采集了觉曲上、下游河水以及觉曲支沟处宗贡曲、龙仁马沟出露的冷泉水, 送至西藏自治区地质矿产勘查开发局中心实验室进行样品全分析检测。样品检测过程中使用的主要仪器有 Optima 5300DV 电感耦合等离子体发射光谱仪, ELAN DRC-e 电感耦合等离子体质谱仪, AFS-820 原子荧光光谱仪, ICS-1000 离子色谱仪, Lambda35 紫外可见分光光度计, WGZ-200 浊度计, SD-9011 色度计。具体样品检测方法依据 GB 8538-2016 引用天然矿泉水标准检验方法。

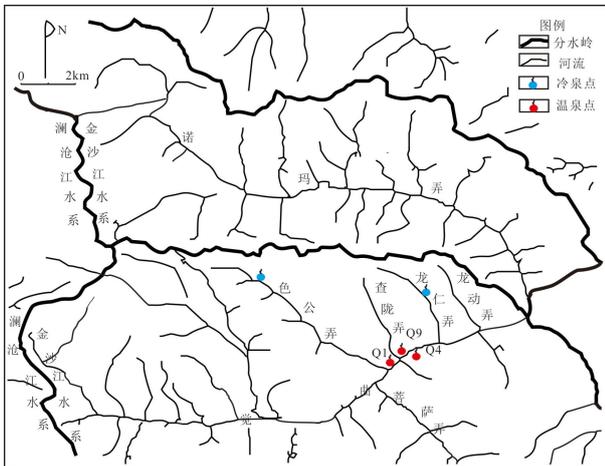


图 1 采样点位置图

## 3 数据分析

### 3.1 水化学特征分析

觉拥温泉水温度为  $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。由实验室水化学测试结果可知, 觉拥温泉阳离子以  $\text{Na}^+$  为主, 阴离子以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  以及  $\text{SO}_4^{2-}$  为主; 而觉曲及其支沟冷泉水主要阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ , 主要阴离子为  $\text{HCO}_3^-$ 。

觉拥温泉水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  型, 觉曲水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型。觉拥温泉主要微量元素为偏硅酸、锶、游离二氧化碳以及偏硼酸。根据天然矿泉水资源地质勘查规范, 当偏硅酸的含量大于  $50\text{ mg/L}$  时, 即符合医疗天然矿泉水水质标准。觉曲偏硅酸含量介于  $79\sim 96\text{ mg/L}$ , 为硅酸水, 具有医疗保健的功效。

觉拥温泉 TDS 远大于觉曲及冷泉水, 是觉曲及冷泉水 TDS 含量的 7 倍左右, 为微咸水 (张人权, 2011)。温泉水较高的水温加快了水岩反应, 是温泉水 TDS 较高的重要原因。此次实验室检测, 觉拥温泉水 pH 在  $6.4\sim 7.0$ , 判断为中偏酸性水。根据《西藏温泉志》记载, 觉拥温泉具有水味酸, 泉口鼓泡的特征 (佟伟等, 2000), 分析地下水在上升成泉的过程中发生了脱碳酸作用, 使得  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  从水中析出, 阳离子转变为以  $\text{Na}^+$  为主。泉口周围的钙华泉华台也验证了这一点。

在研究水文地球化学问题时, 可根据不同组分含量之间的比例系数来判断地下水的成因 (沈照理等, 1993; 李明礼等, 2015)。觉拥温泉水  $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$  平均为 3.19, Ca/Sr 为 33.86, 表明地下水溶滤碳酸盐岩。

### 3.2 热储温度

基于地热流体矿物质的化学平衡而建立的地热温度计, 可较为准确地计算地下热储温度。根据觉拥温泉泉口温度, 选用石英二氧化硅温度计、钠钾钙温度计、钾镁温度计计算公式进行计算。计算结果如表 1。由于不同温度计公式的计算结果存在差异, 需进行选取得到合理的热储温度。当钠钾钙温度计计算结果  $>$  二氧化硅温度计计算结果  $>$  钾镁温度计计算结果时, 选用二氧化硅温度计计算结果作为热储温度 (王云等, 2018)。因此, 觉拥地区的热储温度估算为  $116^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 热储温度计算结果

样品编号	石英二氧化硅温度计 ( $^{\circ}\text{C}$ )	钠钾钙温度计 ( $^{\circ}\text{C}$ )	钾镁温度计 ( $^{\circ}\text{C}$ )
Q1	111	163	112
Q4	116	166	112
Q9	121	168	108
平均	116	166	111

### 3.3 热储深度

参考羊八井地区实测地温梯度, 推测研究区地温梯度为  $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。由公式:

$$H = (T - T_0) / k + H_0$$

$T$  - 热储温度

$T_0$  - 当地多年平均温度

$H_0$  - 常温带厚度

其中  $T_0$  取  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $H_0$  为  $30\text{ m}$ , 计算得热储深度约为  $3201\text{ m}$ 。

## 4 结论

觉拥温泉水温度为  $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ , 区别于觉曲, 觉拥温泉水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  型。主要微量元素为偏硅酸、锶、游离二氧化碳以及偏硼酸, 其偏硅酸含量介于  $79\sim 96\text{ mg/L}$ , 为硅酸水, 具有医疗保健的功效。区内水岩反应强烈, 主要溶滤上三叠统波里拉组 ( $T_3b$ ) 灰岩岩层, 热储温度为  $116^{\circ}\text{C}$ , 热储埋深为  $3201\text{ m}$ 。

### 参 考 文 献 / References

张满波. 2008. 河南省地热资源形势及开发利用潜力分析. 地质论评, (3): 386, 432.

王坤, 王东升. 2002. 应用环境同位素研究地热水起源和补给机制. 地质论评, (s1): 203~209.

杨连伟, 周玉才, 余瑜, 杨文光. 2018. 江西井冈山山曲潭地热水成因及水化学特征分析. 科学技术与工程, 18(23): 8~13.

常梦瑶, 甘申胜. 2017. 西藏申扎县地热活动带水文地球化学特征. 四川地质学报, 37(3): 445~448, 453.

中国科学院青藏高原综合科学考察队著. 1981. 西藏地热. 北京: 科学出版社.

GB/T 13727-2016, 天然矿泉水资源地质勘查规范.

张人权等编著. 2011. 水文地质学基础 第 6 版. 北京: 地质出版社.

佟伟等著. 2000. 西藏温泉志. 北京: 科学出版社.

沈照理等编. 1993. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社.

李明礼, 多吉, 王祝, 鄂国栋, 姜贞贞, 刘高令. 2015. 西藏日多温泉水化学特征及其物质来源. 中国岩溶, (3): 209~216.

王云, 李其林, 冉华, 赵慈平, 刘耀炜. 2018. 青藏高原东南缘地热与地震活动: 来自氦同位素的约束. 矿物岩石地球化学通报, (4): 652~662.

**GUO Ning, SUN Huixiao, LI Haoting, LIU Zhao, NAN Dawa: Hydrochemical characteristics of Jueyong hot spring in Tibet**

**Keywords: Tibet; Jueyong; hot spring; hydrochemical characteristics**