

[文章编号] 1671-9727(2008)05-0580-06

# 西藏盐井地区地下热水水化学特征差异分析

漆继红 许 模 张 强 覃礼貌 江 凯 钱 琳

(成都理工大学“地质灾害防治与地质环境保护”国家重点实验室,成都 610059)

[摘要] 在对西藏盐井地区地质环境条件调查基础上,通过深入研究盐井盐泉、曲孜卡泉的地球化学特征,基本查清了两类泉水的形成和其补、径、排模式之间的差异。西藏盐井乡盐泉以深层卤水形式赋存于上三叠统波里拉组—夺盖拉组( $T_3b-T_3d$ ),出露于芒康—盐井复式向斜次级背斜被澜沧江切割处,其元素离子系数具大气溶滤水特征;而其北面的曲孜卡泉出露处属于竹卡一起塘牛场断裂通过区,泉中稀碱金属含量异于盐井盐泉,且  $F^-$  偏高,其形成具有花岗岩的元素特征。这些差异表明二者的补、径、排系统彼此独立,使其表现出的地球化学特征有如此明显差异。

[关键词] 温泉; 大气溶滤水; 化学特征系数; 诺瓦克水化学系数

[分类号] P641.12 [文献标识码] A

地处滇西、藏东交界处的盐井地区,自古以来因有丰富的温泉资源成为周边地区经济和文化交流的重地。对于该地区温泉的利用大体分为两类,出露于澜沧江右岸扎达村以及左岸上、下盐井的温泉矿化度较高,被当地居民开采用于晒盐;而位于其北面的曲孜卡泉矿化度较低,泉温较高,被当地居民开采作为淋浴等生活之用。两地距离约 5 km,均出露在澜沧江边,并且都是当地经济的重要支柱<sup>[1]</sup>。

两泉位置非常接近,但其出露的物理、化学特征却显示出较大差异的原因迄今为止并未有人作过系统的研究。由于两泉的成因和循环模式对其进一步的开发及保护具有深远意义,本文就采用水化学特征研究方式对二者形成差异进行探讨。

## 1 研究背景

### 1.1 地质构造环境

区内构造自古生代以来,经历了多期运动改

造,形成了较复杂的、性质各异的褶皱和断裂,影响着区域内地下热水的产生、运移及排泄。盐泉出露处恰为芒康—盐井复式次级背斜被澜沧江切割处,而曲孜卡泉出露处的竹卡一起塘牛场断裂带的西面属花岗岩地区<sup>[1],[2]</sup>。

#### 1.1.1 芒康—盐井复式向斜区

该复式向斜位于中生代拗陷西侧,褶皱东界断裂为老然—纳古断层。向斜近南北向展布,北段为一列近南北向短轴一线状褶皱在纵横方向上组合而成,向南急剧收缩变窄,在澜沧江盐井段下游仅发育盐井—四水背斜,向南向斜宽度规模逐渐变宽。该复式向斜南端扬起,向北倾伏。

小昌都以北地区主要发育两条新生代早期褶皱构造,属浅部变形相。

a. 火拉背斜:轴线呈反“S”状北西向延伸,长 20 km,属浅部变形相。核部为上侏罗统注路组紫红色钙质粉砂岩、泥岩,石英粗面岩脉沿其分布;翼部为下白垩统景星组长石石英砂岩夹砂岩、

[收稿日期] 2007-04-18

[作者简介] 漆继红(1975—),女,硕士,讲师,研究方向:工程地质与环境地质, E-mail: qijihong@cdu.cn.

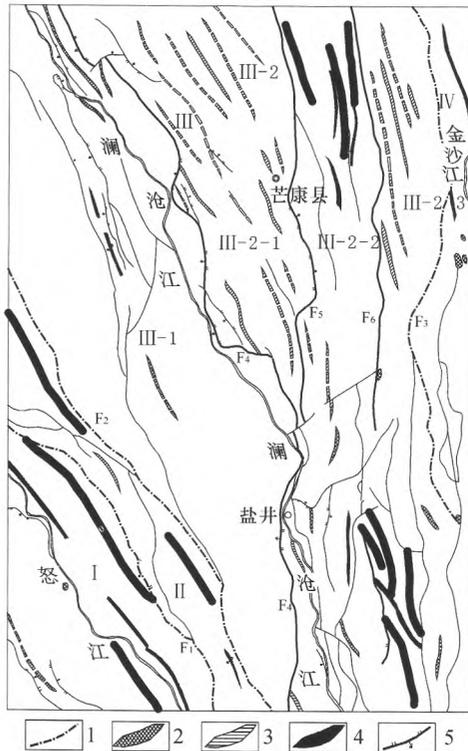


图1 芒康—盐井地区地质构造纲要图

Fig. 1 The geologic structural outline map of the Mangkang-Yanjing area

1. 边界断裂; 2. 印支期褶皱; 3. 喜马拉雅早期褶皱; 4. 倒转褶皱; 5. 断裂。I. 格里陆块; II. 扎玉—碧土结合带; III. 昌都—盐井陆块; IV. 莽林结合带。III-1. 澜沧江岛弧; III-2. 芒康中生代凹陷; III-2-1. 芒康—盐井复式向斜; III-2-2. 通海—多吉复式背斜; III-2-3. 莽海湖向斜。F<sub>1</sub>. 拉物—瓦浦断裂; F<sub>2</sub>. 窝木扎—碧土断裂; F<sub>3</sub>. 背里贡—察里雪山断裂; F<sub>4</sub>. 竹卡—一起塘牛场断裂; F<sub>5</sub>. 老然—纳古断裂; F<sub>6</sub>. 灵芝河—加尼顶断裂

钙质粉砂岩、泥岩, 北东翼倾角  $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ , 南西翼倾角为  $51^{\circ}\sim 59^{\circ}$ , 轴面近于直立, 为短轴闭合状直立背斜。

b. 麻吉向斜: 轴迹 NNW 向, 长 28 km。浅部变形相, 核部为上白垩统南新组紫红色砾岩夹砂岩; 翼部为下白垩统景星组长石石英砂岩夹砂岩、钙质粉砂岩、泥岩。两翼倾角为  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ , 轴面直立, 为长轴闭合状直立向斜。

小昌都以南地区主要发育的是盐井—四水背斜。该背斜为喜马拉雅早期褶皱, 波状起伏, 总体向北西倾伏, 核部为上三叠统波里拉组 ( $T_3b$ )—夺盖拉组 ( $T_3d$ ) 灰色灰岩、砂岩, 其中  $T_3b$  位于盐井盐泉区下游约 12 km 处的托瓦到西鲁之间的澜沧江沿岸。盐井盐泉区位于该背斜北段倾伏端西翼。在此处, 背斜翼部地层 ( $T_3d$ ) 在下盐井地

区出露。翼部北部为侏罗系红层。两翼倾角较陡, 南端及翼部被断裂破坏, 轴面直立, 紧闭状。

### 1.1.2 区域内断裂

昌都—盐井陆块内断裂构造发育, 其中规模较大的主要有 4 条, 它们大多是本区构造单元或其内部次一级构造单元划分的边界断裂。窝木扎碧土断裂是本区西边断裂边界, 也是本区重要的一条控制性断层。背里贡—察里雪山断裂为区域东侧边界断裂, 断裂南延可能与藤条江断裂相连。断裂为压扭性走滑断裂和逆掩推覆断层。老然—纳古断裂近南北向展布, 经芒康县城、帮达区、小昌都、盐井及纳古乡等, 断面总体东倾。北段西盘为中生界红层, 东盘为上古生界浅变质岩系; 南段东盘为上三叠统碎屑岩、火山碎屑岩。断层由东往西推覆于侏罗系、白垩系红层之上, 在芒康一带使得中生代红层形成向西倒转的向斜构造。竹卡—一起塘牛场断裂为昌都—盐井陆块内部次一级构造单元划分的分界断裂, 呈北西向沿澜沧江纵贯全区, 断面倾向南西, 倾角  $35^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。东盘为中生代红层, 西盘为中三叠统忙怀组火山岩逆掩于红层之上。沿断裂两侧有石英脉、镜铁矿脉、黄铁矿化、硅化和铜、金、银、汞、铅锌多金属矿化和水系沉积物组合异常等, 为区内重要的导矿构造之一。

### 1.2 水文地质条件

盐井地区气候常年干燥, 植被稀少。年降雨量仅为 900 mm, 主要集中在每年的 7~8 月份。地表水以盐井地区的溪水和日达村瀑布水为主。地下水系统按其出露特征及物理化学性质, 可分为两个子系统。其一是以盐泉泉群形式, 分散出露于左岸上下盐井和右岸的扎达村, 温度范围为  $35\sim 62^{\circ}\text{C}$ , 一般为  $40^{\circ}\text{C}$  左右, 泉流量较小, 呈现出典型的自流承压特征, 江边附近盐井中盐水位高出江水位 10~20 cm。另一子系统为曲孜卡温泉, 与盐泉相比水质明显淡化, 仅  $0.2\sim 0.3\text{ g/L}$ , 温度达  $71.5^{\circ}\text{C}$ 。而在离盐井较远的南部日达村、北部拉久雪乡也有泉的出露, 但温度较上述两类泉低(具体的温泉、泉水分布位置如图 2)。

## 2 研究方法

地下水化学成分复杂性, 决定于其起源、水动力条件及存在的环境。不同起源的地下水, 其原始成分不同; 而其循环途径的差异也会导致其化学成分发生与之对应的变化。因此对水样的化

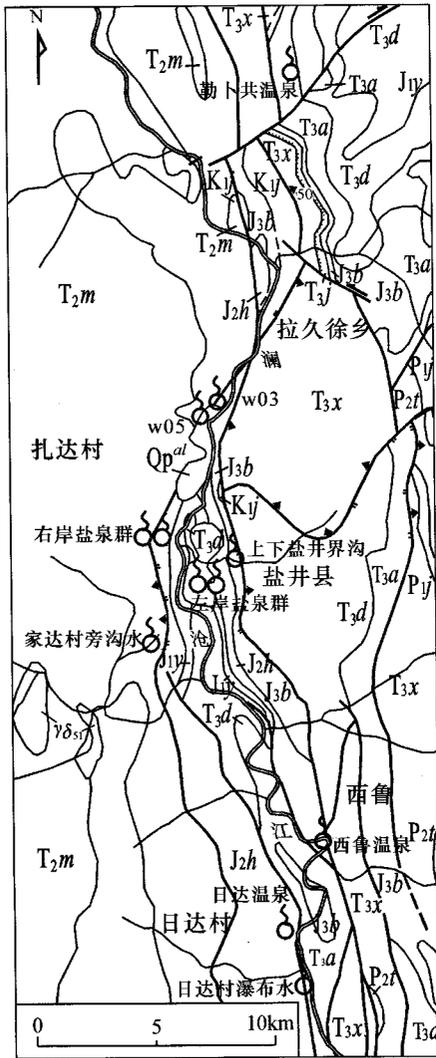


图 2 采样点分布图

Fig. 2 Distribution of water sampling points  
J<sub>1y</sub>. 漾江组; J<sub>2h</sub>. 花开左组; T<sub>2m</sub>. 忙怀组;  
T<sub>3b</sub>. 波里拉组; T<sub>3d</sub>. 夺盖拉组; γδ<sub>51</sub>. 花岗岩

学组分的测定可以对其起源和循环环境进行推测或验证<sup>[3]~[5],[11]</sup>, 本文就采用水化学研究法对盐井地区地下热水的形成过程进行分析。

作者对盐井出露的盐泉、曲孜卡泉以及研究区域内出现的浅表地下水、地表水进行了调查(见图 2)。对大部分水样进行常规阴、阳离子分析, 以期从离子特征获取补给水类型的信息; 稀碱金属元素 Li, Rb, Cs 都是典型的亲岩元素, 而 F 等元素为火成岩特有的元素, 结合该地区的地质构造环境, 分析该类元素特征可作为地下水所流经途径的判据之一。

### 3 测定结果及分析

#### 3.1 测定结果

此次采集分析了盐井地区的区域温泉水、曲孜卡泉、澜沧江两岸盐泉以及浅表地下水和澜沧江江水(取样的位置见图 2)的常量元素, 同时分析了曲孜卡泉和澜沧江两岸盐泉的微量元素。分析结果表明: (1) 澜沧江两岸盐泉的水化学类型为 Cl<sup>-</sup>-Na<sup>+</sup>, 弱酸性盐、卤水, 其矿化度平均达 45.586 g/L; 曲孜卡温泉以及区域外围其他温泉为淡水或微咸水, 水化学类型复杂; 盐井附近沟谷地表水为 HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Ca<sup>2+</sup> 型淡水(图 3)。(2) 澜沧江两岸盐泉的微量元素 Li(6~13 mg/L), Rb(2~7 mg/L), Cs(0.7~0.8 mg/L) 基本比曲孜卡泉高 1~2 个数量级; 而曲孜卡泉的氟离子含量为 15.03 mg/L, 比澜沧江两岸盐泉的高 5 倍左右。

#### 3.2 分析讨论

##### 3.2.1 水样中的元素离子特征系数规律

在水的化学成分中, 各种组分之间的元素离子特征系数常常与地下水的形成机制或形成条件有关, 因而离子特征系数可用来判断地下水的成因和地下水化学成分的来源或形成过程。典型水样的各种特征系数计算示于表 1 中。离子特征系数的变化规律反映出地下水形成过程的一些相关信息。

$x(\text{Na}^+)/x(\text{Cl}^-)$ : 盐泉总的变化范围大体在 0.85~1.00。从该离子特征系数来看澜沧江两岸的比较接近, 而且集中, 且均为氯化物型卤水。资料显示<sup>[6]~[8]</sup>  $x(\text{Na}^+)/x(\text{Cl}^-)$  处于该值域范围, 盐泉水补给是大气淋滤水。而其余区域温泉和曲孜卡泉的  $x(\text{Na}^+)/x(\text{Cl}^-)$  的比例值均显著 > 1.0, 与盐泉的差异悬殊, 水化学类型属于硫酸盐或碳酸盐型水, 该类泉水补给应属于大气降水。

$x(\text{Mg}^{2+})/x(\text{Cl}^-)$ : 据海水浓缩实验知, 在沉积过程中, 镁离子在各相中的分配系数是不一样的, 镁离子常富集在海相的母卤中。通过该离子特征系数可以大体判定盐泉的补给是母卤还是沉积水、淋滤水。盐泉  $x(\text{Mg}^{2+})/x(\text{Cl}^-)$  值的变化范围全部 < 0.01, 显示出大气淋滤水的特征。

$m(\text{SO}_4^{2-}) \times 100/m(\text{Cl}^-)$ : 从该离子特征系数来看, 盐泉的变化范围比较窄, 为 1~5。数值较小, 显示出盐泉具有与岩体发生水岩相互作用的

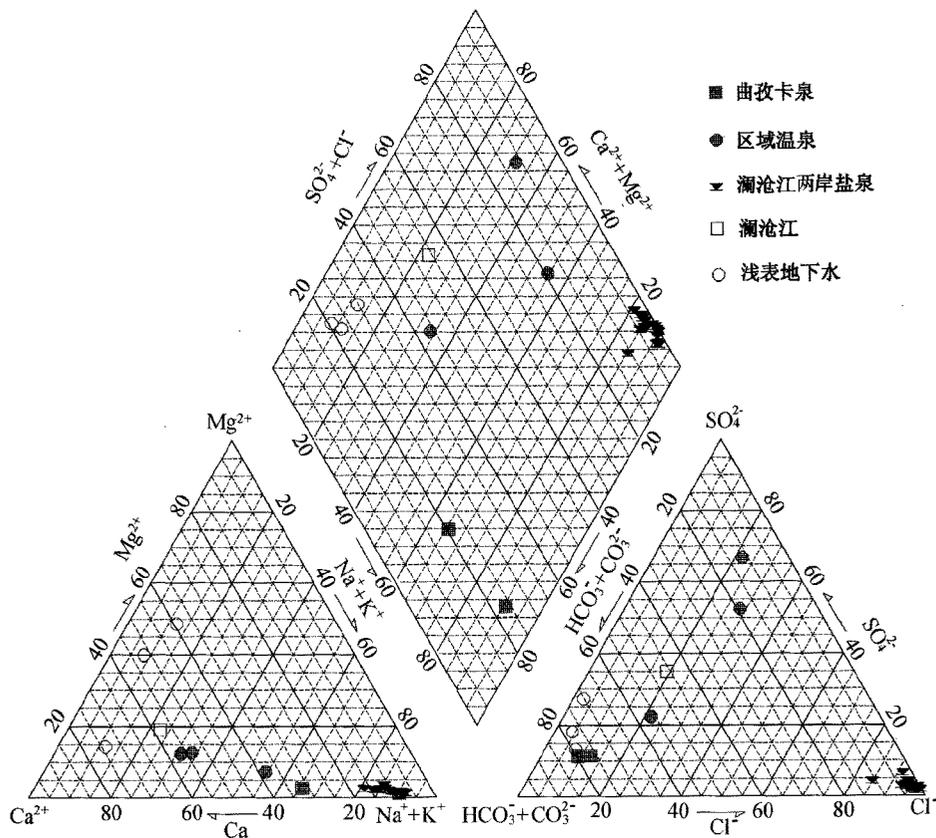


图 3 盐井地区水样 Piper 图  
Fig. 3 The Piper diagram of the water samples from the Yanjing area

特征,有大气溶滤水特点。区域温泉和曲孜卡泉的变化范围则高出一个数量级。 $m(\text{SO}_4^{2-}) \times 100 / m(\text{Cl}^-)$ 数值在低矿化度时有较大提高,也进一步证明区域内其余温泉水与围岩未发生相互作用,该补给水具大气降水的特性。

3.2.2 诺瓦克(Novak)水化学系数差异分析

诺瓦克水化学系数判别水化学特征是美国水文地质专家 Y. Eckstein 和 S. A. Novak 于 1968 年提出来的<sup>[9]</sup>。该方法为气田(卤)水的水化学特征和产层判别提供了一种重要的途径和手段。现尝试使用该方法来判别研究区泉水的产层差异<sup>[10]</sup>。

虽然分析显示澜沧江两岸盐泉的矿化度存在一定差异,但是从图 4 来看,两岸盐泉的诺瓦克水化学特征非常接近,也可进一步证实两岸盐泉应该是产于同一层位。而曲孜卡泉诺瓦克水化学各种特征系数与盐泉差异均明显,尤其从  $x(\text{Na}^+) / x(\text{Mg}^{2+})$ 系数来看,盐泉、曲孜卡泉差异达到 10 倍。

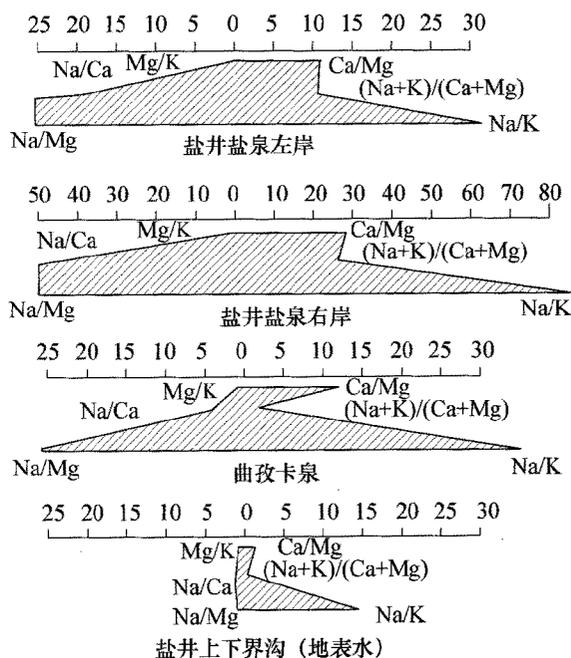


图 4 盐井地区水样诺瓦克水化学特征图  
Fig. 4 The Norwalk hydrochemical characteristics of the water samples from the Yanjing area

表 1 水样离子特征系数  
The characteristic ion coefficients of water samples

编号	$\frac{x(\text{Na}^+)}{x(\text{Cl}^-)}$	$\frac{x(\text{Mg}^{2+})}{x(\text{Cl}^-)}$	$\frac{m(\text{SO}_4^{2-}) \times 100}{m(\text{Cl}^-)}$	
YJ-L1	0.8973	0.00321	0.874	
YJ-L2	0.9204	0.00330	0.918	
YJ-L3	0.9367	0.00254	1.147	
YJ-L4	0.9011	0.00421	1.376	
YJ-L5	0.8970	0.00395	1.745	
YJ-L6	0.9202	0.00433	1.358	
YJ-L7	0.9167	0.00401	1.508	
YJ-L8	1.0182	0.01758	5.525	
YJ-L15	0.8677	0.00472	2.730	
YJ-L18	0.8806	0.00628	1.685	
YJ-R1	0.8994	0.00776	5.003	
YJ-R2	0.9029	0.00824	3.251	
YJ-R3	0.8934	0.00798	4.712	
YJ-R4	0.8601	0.00817	1.977	
YJ-R5	0.8068	0.00909	2.690	
YJ-R10	0.9213	0.00984	3.227	
YJ-R17	0.9194	0.00967	3.734	
YJ-R20	0.8855	0.00815	8.429	
曲孜	W03	7.2879	0.15435	168.696
卡泉	W05	7.6117	0.03377	126.941
勒卜共温泉		1.5022	0.29499	140.267
西鲁温泉		1.8681	0.12931	249.691
日达温泉		1.4057	0.29231	413.095
家达村旁沟水		2.7493	1.80273	578.125
上下盐井界沟		4.4942	9.74510	1442.647
澜沧江江水		1.1548	0.50724	247.002
日达村瀑布水		0.9521	2.79505	238.961

$x$  为离子的摩尔分数,  $m$  为离子的质量分数。

### 3.2.3 盐泉、温泉全分析差异

全分析结果显示盐泉和曲孜卡泉中  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$  三种稀碱金属元素的含量差异明显。盐泉水中的这三种元素的含量都远高于相关围岩体中的含量。该类元素易在岩石风化作用中自铝硅酸盐格架中解离出来并被带走。除其中一部分为粘土矿物所吸附<sup>[11],[12]</sup>, 其余部分, 特别是在 pH 值降低的时候, 以离子形式在自然溶液中富集。资料显示, 在柴达木盆地盐湖卤水中锂的含量平均达 102.85 mg/L, 铷的含量均值达 10.80 mg/L, 铯是 0.18 mg/L。盐井盐泉稀碱金属的富集虽然低于该标准, 但却显著高于曲孜卡泉。该差异是两泉径流途径不同的又一佐证。

与上述三种元素测定结果相反, 氟元素含量在曲孜卡热泉中的含量较盐井盐泉高。在自然水体中, 资料显示卤素元素以氟的富集系数为最小, 尤其在温泉中其平均含量仅 0.55 mg/L。而其含量随流经地区岩石性质而发生变化, 如流经碱性岩和花岗岩地区, 其水体中的氟含量相对较高; 而流经玄武岩、石灰岩地区的则较低。结合曲孜卡泉出露处有竹卡一起塘牛场断层通过, 并以断层为界, 澜沧江右岸为花岗岩地区, 可推断曲孜卡泉中  $\text{F}^-$  的富集很可能是热泉与花岗岩发生水岩相互作用的结果。

## 4 结论

虽然盐井盐泉和曲孜卡泉地理位置接近, 但两者离子系数和诺瓦克特征系数分析结果显示为不同的补给水类型, 补给水的流经途径、层位也不同, 是完全独立的两个系统的泉水。

结合当地的地质特征、微量元素测定差异, 可以看出盐泉为大气溶滤水补给, 在径流途径中与相关地层发生较强的水岩相互作用; 而曲孜卡泉的出露与该处的断层存在有关, 并且带有断层处花岗岩的元素特征。

### [参 考 文 献]

- [1] 许模, 张强, 漆继红, 等. 对藏东盐井温泉与盐卤矿床淹没影响评价及防护、恢复处理措施研究[R]. 成都: 成都理工大学档案馆, 2006.
- [2] 郭颀颖, 廖志杰, 刘时彬, 等. 横断山温泉志[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1999.
- [3] 沈照理, 刘光亚. 水文地质学[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [4] 王永利, 贾疏源, 倪师军, 等. 雅砻江锦屏水电工程区岩溶水化学特征探讨[J]. 中国岩溶, 2004, 23(2): 158-163.
- [5] 陈箐, 尹观. 云南水富地热钻孔水的地质地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(4): 337-341.
- [6] 马万栋, 马海州. 塔里木盆地西部卤水地球化学特征及成钾远景预测[J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 98-106.
- [7] 林耀庭, 潘尊仁. 四川盆地气田卤水浓度及成因分类研究[J]. 盐湖研究, 2001, 9(3): 1-6.
- [8] 林耀庭, 姚有成. 四川宣达盐盆地富钾矿卤水地球化学特征及资源意义研究[J]. 盐湖研究, 2004, 12(1): 8-18.

- [9] ECKSTAIN Y, NOVAK S A. Hydrochemical characterization of brines and identification of brine contamination in aquifers[J]. *Ground Water*, 1968, 26: 317-324.
- [10] 林耀庭,何金权,赵泽君. 诺瓦克水化学系数在川中地区上三叠统气田(卤)水产层的应用意义[J]. *四川地质学报*, 2002, 22(3): 146-148.
- [11] 曲一华,袁品泉,帅开业,等. 兰坪-思茅盆地钾盐成矿规律及预测[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [12] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984.

## An analysis of the hydrogeochemical characteristics for the hot underwater in Yanjing of Tibet, China

QI Ji-hong, XU Mo, ZHANG Qiang,  
QING Li-mao, JIANG Kai, QIAN Lin

*State Key Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Environment Protection,  
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*

**Abstract:** Based on the research of the geological environment of the Yanjing area in Tibet and the hydrogeochemical characteristics of the Yanjing salt spring and Quzika spring, this paper discusses the different formation pattern and supply-runoff-drainage systems of the two kinds of springs. The salt spring appears at the infall of the Mangkang-Yanjing double syncline and Lancang River. Its temperature is about 40°C, and the highest temperature can reach 62°C. Its supply water is atmospheric precipitation leaching water and stores in the strata of Upper Triassic Bolila Formation and Duogaila Formation, showing that the water comes from far areas and goes through deeply. While, the Quzika spring appears in the area which the Zuka-Qitang-Niuchang fracture zone goes through. Its temperature is higher than that of the salt spring, and the highest temperature can reach 71°C. The F<sup>-</sup> content is high, showing the element characteristic of granite in the west of the fracture zone. It can be concluded from these differences that the two kinds of springs have their own supply-runoff-drainage systems which make such evident difference between them.

**Key words:** thermal spring; hydrogeochemical characteristic; atmospheric precipitation leaching water; Novak chemical coefficient