

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.04.014

# 依据示踪元素寻找炮守营温泉区地热水

宋文明

(丹东市水务局, 辽宁 丹东 118000)

**摘要:**地热水在高温高压的环境下,在岩石的裂隙中缓慢地渗透、运移,达到了有利溶解的新热动力平衡,致使围岩发生蚀变,围岩中有新的物质溶入水中,使地热水化学指标与周围环境水有明显的区分特征,表现为 $F^-$ 、 $SiO_2$ 、pH值3项指标明显高于环境水。以上述3项指标作为示踪元素,在丹东市炮守营温泉区寻找地热水,结果显示,该方法可明确界定地热区域的范围,缩小勘查目标,降低原有的工作量和资金投入。

**关键词:**炮守营温泉区;地热水;示踪元素;热储构造

中图分类号:P345 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2016)04-0084-04

## Search for geothermal water according to tracer elements in Paoshouying hot spring area

SONG Wenming

(Dandong Municipal Water Affairs Bureau, Dandong 118000, China)

**Abstract:** Geothermal water in high-temperature and high-pressure environments slowly infiltrates and migrates through fissured rocks to achieve a new thermal and dynamical balance conducive to dissolution, resulting in wall rock alteration. In the surrounding rocks, new substances are dissolved in the water, which enables the chemical indicators of geothermal water to be different from those of the surrounding environmental water, as shown by the fact that the values of  $F^-$ ,  $SiO_2$ , and pH are much larger in geothermal water than in environmental water. We used the three indicators mentioned above as tracer elements to search for geothermal water in the Paoshouying hot spring area, in Dandong City. The results show that this method can explicitly define the boundaries of geothermal regions, narrow down the investigation targets, and reduce the original workload and capital investment.

**Key words:** Paoshouying hot spring area; geothermal water; tracer element; thermal reservoir structure

### 1 炮守营温泉区概况

#### 1.1 自然地理情况

炮守营温泉区位于丹东市元宝区金山镇炮守营村,坐标 $40^{\circ}12'N$ , $124^{\circ}16'E$ ,处于东北亚经济圈的核心地带,是黄海、渤海两个经济圈的交汇点。距离丹东市中心18 km,距离朝鲜平壤市220 km,距离韩国仁川港453.74 km,距离丹东机场17 km,,沈丹高速、沈丹公路过境,海、陆、空立体交通网十分便利。

炮守营温泉区露于沟谷冲洪积形成的较为平坦的漫滩坡地上,两侧为低山丘陵夹着狭长的谷地,上

面覆盖着第四系松散亚黏土耕地,区内植被发育,乔灌丛生,多为自然林,以柞树、松树、杨树等最为常见。温泉水静水位-3 m,水温 $50\sim 60^{\circ}C$ ,pH值9.7,属于弱碱性水,可开采量 $2962\text{ t/d}$ ,水化学类型 $HCO_3^-Na$ 型,水中硫化物的含量较高,硫化氢气味明显,洗浴后皮肤腻滑顺爽,对扩张血管、降低血脂,溶解角质软化皮肤,杀害寄生虫及脱敏等有明显的疗效,地热流体中氟、硅的含量达到医疗命名矿水浓度要求,可命名为氟、硅热矿水<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 水文气象条件

炮守营温泉区是一个由两侧的低山丘陵夹着的

狭长谷地,有一条季节性河流流经,流量随季节变化较大,枯水期为  $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ,丰水期为  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ,汇入大沙河,后由沙河口注入鸭绿江,距鸭绿江口直线距离  $14 \text{ km}$ 。

炮守营温泉区地处温带湿润性季风气候区,因受黄海的影响,具有海洋性气候的特点,冬无严寒,夏无酷暑,四季分明。年平均气温  $8.9^\circ\text{C}$ ,冻土层深度  $0.8 \sim 1.1 \text{ m}$ ,无霜期  $140 \sim 170 \text{ d}$ ,年平均降雨量在  $800 \sim 1200 \text{ mm}$  之间,多集中在 7、8 月份。这里雨量充沛,气候湿润,水资源丰富,是我国北方降雨量最多的地方。

### 1.3 地质条件

#### 1.3.1 地层与岩性

区内出露地层主要为第四系及印支期岩浆岩,其它地质时代的地层均不存在,分布情况如下:

a. 第四系。炮守营温泉区第四系地层简单,主要为第四系堆积物,厚度  $1 \sim 10 \text{ m}$ 。成因类型有河谷坡洪积、丘间沼泽堆积、冰川堆积和残坡积。岩性主要为亚砂土、亚黏土,余者为砂土或砾石。

b. 岩浆岩。岩浆岩广泛分布于温泉区,为中-中酸性,其形成年代为印支、燕山 2 期。其中:①印支期似斑状花岗岩。主要分布在北段沟谷的西侧丘岗地带,是热水井孔内见到的主要岩石,岩石矿物共生组合与区域类同,热储构造部位的岩石裂面见绿泥石化、沸石化、黄铁矿化等现象。沸石最典型,是热储构造带中的特征矿物。②印支期花岗闪长岩。分布在温泉区的北部和测区的西南部,岩石组合与区域差异不大,花岗闪长岩与花岗岩相变明显,但接触关系不清,可能是重力分离作用造成岩性上的差别。③燕山黑云母花岗岩。分布在测区的外围,是丁歧山侵入岩体相向南延伸部分。在测区内呈小岩株状出现,与印支期花岗岩侵入接触关系。④脉岩。区内出现的脉岩有正长斑岩、闪长斑岩、闪长玢岩、石英脉及沸石脉,其中闪长玢岩最发育。

#### 1.3.2 地质构造

普查区位于中朝准地台(I)、胶辽台隆( $I_1$ )、营口-宽甸台拱( $I_1^3$ )的南部。在漫长的地质历史时期内,本区地质历史上先后经历了辽河运动、印支运动、燕山运动及喜山运动等多次造山运动,期间伴随有多次的火山活动,使地层遭受强烈褶皱及断裂,本区早期应力历史曾在南北力偶的挤压应力作用下,在刚性基底上产生北北东向滑断裂体系。包括北北东向走滑断裂和北西-北北西向张扭性断层,同时引起东西向断层的复活。

炮守营温泉区古老结晶基底广泛出露,构造形态以褶皱和断裂构造为主。断裂构造的主基调以北

北东向走滑断裂为主,其次也有北西向断裂,与炮守营温泉区关系最密切的,对炮守营温泉区影响较大的断裂构造有:

a. 鸭绿江断裂。位于测区东部黄海内,鸭绿江断裂基本沿江呈北东-南西延伸,至鸭绿江口呈梳状展布。鸭绿江断裂是由数条乃至更多的基本平行的断裂和次生的其他方向的断裂构成,其主干断裂走向  $45^\circ\text{NE} \sim 50^\circ\text{NE}$ ,倾向以北西向为主,局部倾向南东,倾角  $62^\circ \sim 70^\circ$ ,主干断裂最大宽度大于  $1 \text{ km}$ 。断裂带由黑色、灰色断层泥、断层挤压透镜体及构造角砾组成,石墨化、褐铁矿化、硅化强烈。鸭绿江断裂带不仅切割了辽河群地层,也切割了辽河期侵入岩( $\gamma_2^2$ )和印支期侵入岩( $\gamma_3^1$ )。据地震资料,鸭绿江断裂带目前仍在活动,其活动的继承性特点是控制本区新构造运动的重要因素。

b. 庄桓断裂。该断裂南起大连庄河市南西海域(海上延伸不详),北东延伸经丹东凤城市、宽甸县、灌水镇、桓仁,地表联系性较差,呈北东走向,出露长大于  $275 \text{ km}$ ,其间多被第四系覆盖。该断裂发育在辽河群或印支期花岗岩中,受北北东向滑断层的切割,踪迹零乱。宽甸第四系玄武岩喷出与该构造有关,玄武岩中含有大量的橄榄石、辉石、石榴石等幔源物质包体,表明断裂切割地壳较深。

### 1.4 水文地质特征

#### 1.4.1 地下水类型

根据地下水赋存条件,区内地下水类型主要为松散岩类孔隙水、花岗岩风化带网状裂隙水和基岩构造裂隙水。

a. 松散岩类孔隙潜水。分布于沟谷第四纪砂砾石层中,含水层厚  $1 \sim 3 \text{ m}$ ,潜水埋深  $2 \sim 3 \text{ m}$ ,水位年变幅  $2.0 \text{ m}$  左右,渗透系数  $50 \sim 100 \text{ m/d}$ ,单井出水量  $200 \sim 300 \text{ m}^3/\text{d}$ ,地下水受大气降水和基岩裂隙水补给,以地下径流向下游排泄。

b. 花岗岩风化带网状裂隙水。分布于区内的丘岗地带,花岗岩在内外动力地质作用下,表层花岗岩普遍遭受不同程度的风化,形成几米至几十米厚的风化层,网状裂隙发育。大气降水渗入其中,形成网状裂隙水,泉点稀少,泉流量一般小于  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ,水位年变幅  $10 \text{ m}$  左右,单井涌水量大于  $200 \text{ m}^3/\text{d}$ ,平均地下径流模数  $2.48 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。

c. 基岩构造裂隙水。区域上基岩构造裂隙发育,大气降水沿构造裂隙渗入其中聚集形成构造裂隙水,多形成线状展布的上升泉群,泉流量一般  $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

地下热水是另一种形式的构造裂隙水,以其循环深度才显示出温度和水化学方面的不同<sup>[2]</sup>。

### 1.4.2 地下水补给、径流、排泄条件

地下水的补给、径流、排泄条件,主要受地质、地形地貌、水文地质条件及气象条件决定的。

丘陵山区,地形坡度大,岩石裂隙发育,大气降水渗入地下形成基岩裂隙水。地下水以泉的形式向谷中排泄、补给第四系松散岩类形成孔隙潜水。因此,基岩山区是地下水的补给区。

山前坡积及沟谷地带,地下水即接受大气降水的垂直补给,同时接纳基岩山区、基岩裂隙水的侧向补给。在重力水动力条件下向下游更宽厚的松散层排泄,形成地下径流。这里是地下水补给-径流区。

冲积平原,地势平坦开阔,地下水接受大气降水补给、上游的侧向补给,以地下径流向下游排泄。同时地下水又以人工开采和地表蒸发的形式垂直排泄。因此,这里是地下水的补给-排泄区。

炮守营温泉区内地下水以接受补给为主,以水平排泄为辅。区域地下水流向自北流向南<sup>[3]</sup>。

## 1.5 地热流体化学及动态特征

### 1.5.1 冷水常规化学组分特征

炮守营温泉区内冷水化学类型以  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$  型、 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Na} \cdot \text{Ca}$  型、 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$  型、 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$  型和  $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl-Ca} \cdot \text{Na}$  型为主, pH 值在 5.35 ~ 8.53 之间,属弱酸-弱碱性水。

常规水化学组分中,  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  的质量浓度分别为 0.25 ~ 18.92 mg/L、3.86 ~ 35.54 mg/L, 调查显示  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  质量浓度高值中心分布在炮守营子温泉区的南部。 $\text{Cl}^-$  的质量浓度为 4.73 ~ 63.12 mg/L, 高值中心位于温泉区的南部,高值中心的值为 63.12 mg/L。

### 1.5.2 冷水专项水化学组分特征

专项水化学组分为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{F}^-$  2 项,它们的含量受地貌、地温、断裂构造、地层岩性等多种因素控制。水文地质调查及化验分析测试结果显示,炮守营温泉区冷水未发现  $\text{F}^-$ ,可溶性  $\text{SiO}_2$  的质量浓度为 1.00 ~ 1.42 mg/L,高值中心在王家街一带,高值中心的值为 1.18 ~ 1.42 mg/L。

### 1.5.3 地下热水水化学组分特征

地下热水中常规组分以  $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、可溶性  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{F}^-$  为主,  $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  次之,各离子含量基本无变化。根据浅部地温场特征综合分析,水化学场中的  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{SiO}_2$  的高值中心均大致与地温场较高地带有一定的吻合性,只是位置有所偏移,

这可能是受地貌、岩性、浅部地下水运动等因素影响有关。最为明显的是可溶性  $\text{SiO}_2$  含量高值中心的分布与地温场较高地带吻合最好。说明可溶性  $\text{SiO}_2$  是本区异常的标志性组分。其他水化学组分高值地带均分布于断裂交汇附近部位,这些特点表明深部存在着隐伏地热异常区,且与断裂关系密切或受断裂控制。

炮守营温泉区内勘测井 ZKB4-1、ZK12 的水化学成分见表 1,炮守营温泉区地下热水水化学类型较简单,水化学类型是  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  和  $\text{CO}_3\text{-Na}$  型,  $\text{F}^-$  的质量浓度为 2.92 ~ 12.64 mg/L,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  的质量浓度为 84.47 ~ 92.55 mg/L, pH 值为 8.97 ~ 9.29,总硬度为 10.67 ~ 11 mg/L,均位于温泉出露点附近,沿构造断裂带状展布,且随着温度的升高,矿化度增高<sup>[4]</sup>。

综合分析炮守营温泉区的冷水及热水的水化学组分特征,可得出如下结论:在低山丘陵地区,岩石被强烈冲刷,冷水经常是弱矿化度重碳酸盐型的,如  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$  型。在丘间谷地等低地中,水的运动变慢,由高处带来的盐分在这里进一步矿化,水的矿化度增高,出现硫酸盐和氯化物改变水的化学类型,如  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Na} \cdot \text{Ca}$  型、 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$  型和  $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl-Ca} \cdot \text{Na}$  型。而区内地下热水主要为  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  和  $\text{CO}_3\text{-Na}$  2 种类型,结合前人工作资料及本次工作成果可知,热储层岩性均为燕山期花岗岩,大气降水沿着基岩裂隙渗到地下补给地下热水,补给形式以深循环为主,深循环过程中水中离子发生溶滤作用,而形成与冷水有较大差别的化学组分<sup>[5]</sup>。

## 1.6 热储构造特征

炮守营温泉区的热田类型属于中低温对流 II-2 型热田,地热田构造简单,区内万宝-王家街北东向扭张断裂集储热控热于一身,衍生出一系列北东向次生构造,切割深度达数公里,控制长度 1670 m,是鸭绿江断裂的组成部分。地温场呈东西向展布,异常面积 0.1897 km<sup>2</sup>。深部热储在高温高压环境下达到了有利溶解的新热动力平衡,致使围岩发生蚀变,有新物质融入水中,表现为  $\text{F}^-$ 、可溶性  $\text{SiO}_2$ 、pH 值 3 项指标明显高于环境水,平面上此 3 项指标的等值线越靠近热储轴线其值越高,形成与热储构造走向完全一致的带状异常,可作为找热水的示踪元素<sup>[6]</sup>。

## 2 以 3 项指标为示踪元素找地热水

a. 在工区不同区域圈定 11 个环境水取水点,

表 1 勘测井 ZKB4-1、ZK12 水化学成分

勘测井	$\rho(\text{K}^+)/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{Na}^+)/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{Ca}^{2+})/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{CO}_3^{2-})/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{HCO}_3^-)/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{SO}_4^{2-})/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{Cl}^-)/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{Sr})/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{F}^-)/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{可溶性 SiO}_2)/$ (mg·L <sup>-1</sup> )	总矿化度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	pH 值	水化学 类型
ZKB4-1	2.06	70.09	3.14	31.95	53.16	31.54	28.76	0.13	12.64	92.55	242.22	9.29	$\text{HCO}_3\text{-Na}$
ZK12	1.43	38.00	2.96	16.00	59.00	18.25	7.50	0.11	2.92	84.47	240.00	8.97	$\text{HCO}_3\text{-Na}$

其中 2 个取水点为地表水,其余 9 个取水点为 2 ~ 5 m 民用敞口井或压水井,采集 11 个水样作为标本进行水质分析,水化学分析结果如下:水样中未发现  $F^-$ ,可溶性  $SiO_2$  的质量浓度为 1.0 ~ 1.42 mg/L,pH 值为 5.35 ~ 7.53,属于弱酸-弱碱性水<sup>[7]</sup>。

b. 在工区相同区域另选 6 眼浅井,其中早年地质勘查孔 4 眼,井深为 45 ~ 75 m,另 2 眼为企业现用水井,井深 38 ~ 50 m,取 6 个水样进行水质分析,其中有 1 眼井深 50 m 的企业现用水井化学指标与环境水指标相同,不存在异常现象,其余 5 眼井  $F^-$  的质量浓度为 2.92 ~ 12.64 mg/L,可溶性  $SiO_2$  的质量浓度为 84.47 ~ 92.55 mg/L,pH 值为 8.97 ~ 9.29,上述指标远远高于环境水,具有明显的区分特征<sup>[8]</sup>。

c. 将 5 眼异常井填图到 1 : 10 000 水文地质图上,连线圈定约 0.3 km<sup>2</sup> 区域,在该区域做物探勘查,发现 F1 热储构造,该构造由西南的炮守营河沙沟-北东双岭子村,走向北东 32°,倾向南东,推测长度大于 4.5 km,为本区储热、导热构造。该构造裂隙发育,岩石蚀变现象明显,表面常见钙化和硅化,多见绿帘石化及绿泥石化现象,孔洞发育,是典型的分段热储构造。2013 年 8 月,辽宁省地质第七大队在此构造南北成功施工 ZK12 号地热井,井深 975 m,水量 970 t/d(降深 30 m),水温 60.2℃,是目前炮守营开发最成功的 1 眼地热井<sup>[9]</sup>。

### 3 结 语

以  $F^-$ 、可溶性  $SiO_2$ 、pH 值 3 项指标为示踪元素寻找地热水,可明确界定地热区域的范围,缩小勘查目标,降低原有的工作量和资金投入。这个方法,离不开传统的地质勘查、物探、试验探孔的辅助。以  $F^-$ 、可溶性  $SiO_2$ 、pH 值 3 项指标为示踪元素寻找地热水的实践,目前仅在炮守营温泉区取得成功范例,有待于在其他温泉区进行实践和推广。

### 参考文献:

[1] 丹东市水务局. 2014 年丹东市水资源公报[N]. 丹东日报,2015-03-23(002).

[2] 常婧莹. 丹东市温泉资源的应用现状调查[J]. 四川建材,2014,40(4):106-107,119. (CHANG Jingying. Hot spring resources in Dandong City survey of current [J]. Application of Sichuan Building Materials,2014,40(4):106-107,119. (in Chinese))

[3] 崔杰石. 阜新市地热水资源量分析[J]. 东北水利水电,2015(3):30,47. (CUI Jieshi. Analysis of geothermal water resources in Fuxin City [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2015(3):30,47. (in Chinese))

[4] 张为,周丽,唐红峰,等. 地热水中氟含量的模型评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2015,45(增刊1):337-338. (ZHANG Wei,ZHOU Li,TANG Hongfeng, et al. Model evaluation of fluorine content in geothermal water [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015,45(sup1):337-338. (in Chinese))

[5] 何明珠,李广辉,安英辉. 地热水资源对环境的影响分析研究[J]. 科技创业家,2014(6):186. (HE Mingzhu, LI Guanghui, AN Yinghui. Analysis of environmental impact of geothermal water resources [J]. Technological Pioneers, 2014(6):186. (in Chinese))

[6] 贺晓平. 克东县克东镇地热能分布特征及资源评价[D]. 长春:吉林大学,2012.

[7] 聂凤军. 黑龙江省明水县地热田地热资源评价及开发利用研究[D]. 长春:吉林大学,2012.

[8] 李俊峰,靳宝珍,程万庆,等. 天津蓟县系雾迷山组地热流体水化学特征研究[J]. 地质调查与研究,2008,31(4):339-345. (LI Junfeng, JIN Baozhen, CHENG Wanqing, et al. Ji County of Tianjin, system the mist mountain groups of geothermal fluid water chemical characteristics [J]. Geological Survey and Research,2008,31(4):339-345. (in Chinese))

[9] 胡燕,高宝珠,靳宝珍,等. 天津地热流体水化学分布特征及形成机理[J]. 地质调查与研究,2007,30(3):213-218. (HU Yan, GAO Baozhu, JIN Baozhen, et al. Characteristics and formation mechanism of the chemical distribution of geothermal fluid in Tianjin [J]. Geological Survey and Research, 2007, 30(3):213-218. (in Chinese))

(收稿日期:2015-09-23 编辑:王 芳)

### · 信息播报 ·

#### 《水资源保护》主编王沛芳教授获 第十一届光华工程科技奖青年奖

第十一届光华工程科技奖颁奖大会于 2016 年 6 月 1 日在北京举行,1 位专家获成就奖,33 位专家分别获得工程奖和青年奖。我刊主编——河海大学环境学院院长王沛芳教授荣获青年奖。

光华工程科技奖由中国工程院管理,被誉为中国工程科技界最高奖项,旨在奖励工程科技及工程管理领域取得突出成绩和重要贡献的中国优秀工程师、科学家,包括成就奖、工程奖、青年奖,每两年颁发一次。1996 年首届颁奖迄今,共奖励涉及机械、运载、信息、电子、化工、冶金、材料、能源、矿业、土木、水利、建筑、环境、轻纺、农业、医药、卫生、工程管理等领域的 234 位院士、专家。

(本刊编辑部供稿)