

# 泰安市桥沟温泉地热资源评价\*

刘国爱,赵新华,朱红漫,满媛,王俊兰

(山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

**摘要:**桥沟温泉处于两断裂带交汇处,为构造控热。热水受大气降水深循环上溢形成,桥沟热储资源量为  $1.1935 \times 10^{16}$  J,可采热储量为  $2.98 \times 10^{15}$  J,现开采平均为  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,计算桥沟地热田可稳定开采 197 年。

**关键词:**温泉;地热;资源;评价;泰安市;桥沟

**中图分类号:** P341.1;TK521.33 **文献标识码:** A

## 1 概况

山东省 18 处天然温泉点之一的桥沟温泉位于泰安市东南约 12 km 处桥沟村西部(图 1)。地貌上处于徂徕山前汶河漫滩和一级阶地上。区域地形南高北低,温泉出露标高 115.3 m。区内多年平均气温  $13.5^\circ\text{C}$ ,多年平均降水量 724.3 mm,多年平均蒸发度为 1 633.2 mm。区内主要河流为汶河,现为季节性河流。



图 1 工作区位置图

桥沟温泉在 20 世纪 70 年代末建成温水养鱼池,1982 年正式养殖。鱼池保持温度为小鱼池

27 $^\circ\text{C}$ ,大渔池 17 $^\circ\text{C}$ 。热水开采时间为每年 10 月至次年 5 月,目前年开采量平均为  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,开采井 5 眼,井径 1~4 m,井深 5.29~8.57 m,开采热水 16 年来,桥沟温泉水位下降,现水位埋深 3.95~7.53 m,不再以泉的形式溢出。

## 2 地热地质条件

### 2.1 地热点的显示

据调查,“桥沟温泉”位置原为汶河漫滩,冬天热气蒸腾,砂层中水温常年较周围区高。据 1972 年调查,测得砂中水温  $39^\circ\text{C}$ ,井中水温  $38^\circ\text{C}$  (不抽水时)和  $41^\circ\text{C}$  (抽水时);1994 年调查桥沟热水水温  $43^\circ\text{C}$ ;1998 年 9 月实测井中水温  $44^\circ\text{C}$  (抽水时);1999 年 8 月 7 日、11 月 6 日、11 月 24 日实测井中水温:不抽水时井水温  $27.9 \sim 38^\circ\text{C}$ ,抽水时井水温高达  $45.2^\circ\text{C}$ 。随着地下热水的开发,热水温度有增高的趋势,反映出深部地热水存在与浅部冷水混合的现象,同时也反映出热储是裂隙型的并非均质型(图 2)。

### 2.2 地热地质条件

“桥沟温泉”在地质构造上处于 NW 向北店子断裂与 NE 向徂徕山前断裂交汇处,在地貌上处于汶河漫滩与一级阶地的接壤处,同时也是徂徕山前大断裂由走向 NE 转向 SN 的折点。温泉所在地段自上而下地层岩性为:第四系全新统河流冲洪积作用形成的砂质粘土、砂砾石层,厚 7~9 m;太古宙侵入

\*收稿日期:2003-02-27;修订日期:2003-06-17;编辑:孟舞平

作者简介:刘国爱(1959-),女,山东文登人,高级工程师,主要从事水文地质工作。

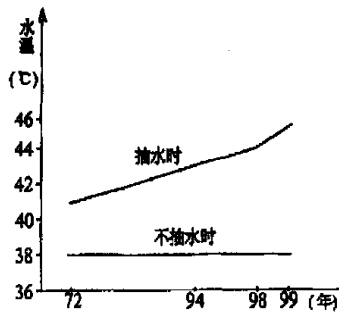


图2 井中水温变化曲线

岩,岩性主要为二长花岗岩,厚23m;新太古代泰山岩群,主要岩性为斜长角闪岩,黑云变粒岩等。结合该区地质及水文地质条件分析认为,桥沟温泉的形成是由于徂徕山前深大断裂与北店子断裂在桥沟西相互切割,影响深度大,破碎带宽,使地壳深部热能沿断裂通道上升。来自西北方向的地下水通过导水而贮水的北店子断裂向桥沟方向径流汇集,得到来自深部热能的加热而升温,后受徂徕山断裂及东南部坚硬侵入岩、变质岩的阻挡上溢于汶河漫滩低洼处成温泉(图3)。热水上溢后与几米厚的砂层孔隙水混合,水温有所降低。

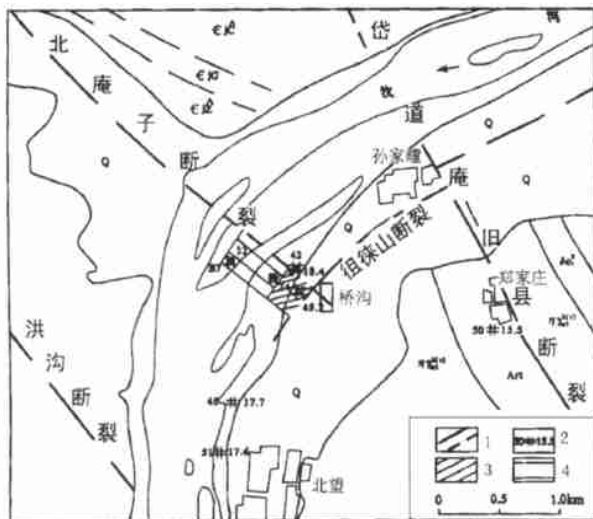


图3 桥沟西地热地质图

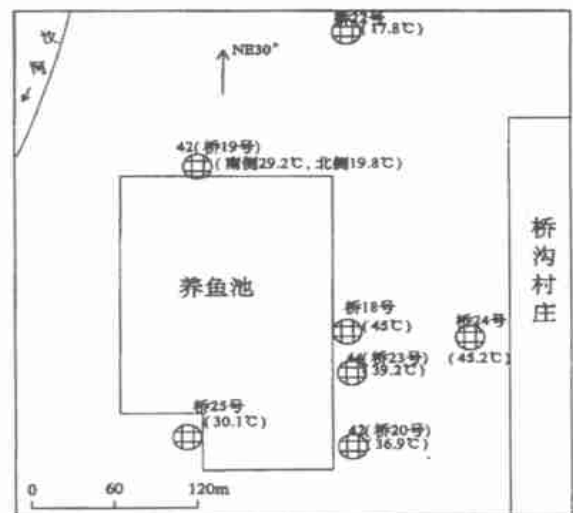
1—断层及推测断层;2—井号、井底水温(°C);3—地热开采区;  
4—地热潜力开采区

桥沟温泉热水的补给主要是西北部古生代寒武纪九龙群张夏组碳酸盐岩裂隙岩溶水、变质岩风化裂隙水、汶河河床与漫滩第四系砂层孔隙水下渗径流补给,与大气降水关系密切。1999年观测,热水

井水位在漫滩处理深3.95~5.22m,在Ⅱ级阶地处理深7.53m,年变幅1m左右。其水位较20世纪70年代下降3~4m,较20世纪90年代初下降1~2m。主要是由于汶河河床下降(挖沙)、补给资源减少以及人工开采所致。

桥沟温泉热水的水化学特征是:水化学类型为 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{HCO}_3^- - \text{Na} + \cdot \text{Ca}^{2+}$ 型,硬度为244.35 mg/L,游离 $\text{CO}_2$ 为8.92 mg/L,偏硅酸为9.75 mg/L,耗氧量0.82 mg/L,矿化度882.3 mg/L,pH为7.23, $\text{F}^-$ 为2 mg/L,Li为0.3 mg/L,Sr为2.01 mg/L, $\text{I}^- < 0.04$  mg/L, $\text{Br}^-$ 为0.18 mg/L, $\text{HBO}_2$ 为1.43 mg/L,酚类 $< 0.002$  mg/L, $\text{CN}^- < 0.006$  mg/L。水质显示处于深循环、半封闭环境,受岩浆岩变质岩裂隙水以及浅层孔隙水补给影响的特征。

对桥沟附近 $11 \text{ km}^2$ 范围内浅井进行测温结果显示:桥沟热水区现有地热井6眼,控制面积240m(南北) $\times$ 200m(东西)。另据有关资料反映:在现地热井开采区西约600m汶河河床中一钻孔(B7)45m深,揭露变质岩风化壳,水温32°C。访问当地居民得知,热水区可由现在桥20号井向南延伸约140m。因此认为桥沟热水区分布范围为南北长约380m,东西长约800m(图4),其热储为断裂破碎带及影响带,岩性为变质岩、石灰岩类。

图4 桥沟西地热井及水温分布图  
(水温为观测井底最高温度)

### 3 桥沟地热资源评价

### 3.1 温度变化趋势分析

1999年8月7日、11月6日5个地热浅井的测温资料显示:从水面往下到井底温度呈逐渐增加的趋势,井底温度最高(图5)。表明桥沟温泉热源来自深部,离地表越远水温越高,另据1999年11月24日5个地热浅井测温资料表明:在气温远低于热水温度时,进行井孔干扰抽水,其水面、井下部水的温度均低于其中间段温度(图6),这表明水面受冷气温影响水温降低,也表明抽取下部热水时不断有四周浅层孔隙水(凉水)的补给。充分反映出热储深部的温度远远高于现抽取的热水温度,显示桥沟温泉有较好的开发潜力。

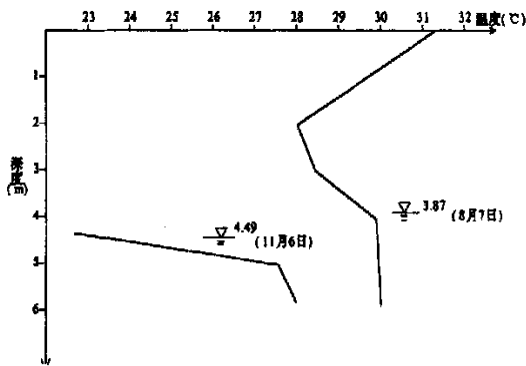


图5 桥25号孔测温曲线图

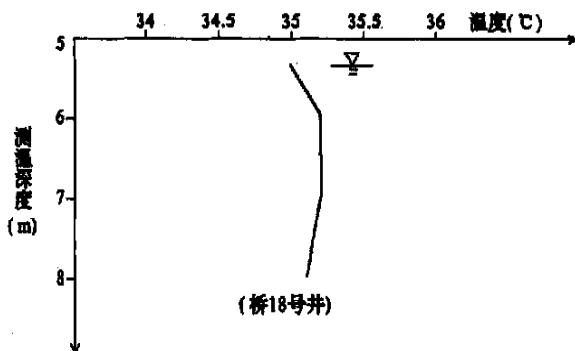


图6 井孔测温曲线图  
(11月24日,气温14.2)

### 3.2 热储概念模型

建立桥沟热水区热储概念模型如图7所示。其中热储为徂徕山断层与北店子断层的交汇破碎带,热源为因断层沟通的来自地壳深部的热能,热水补给源为西北部岩溶水、裂隙水、孔隙水顺北店子断层

下渗径迳补给。冷水在深部加热后受侵入岩、变质岩阻挡上溢,并在浅部与孔隙水混合,水温有所降低。属深循环对流型。

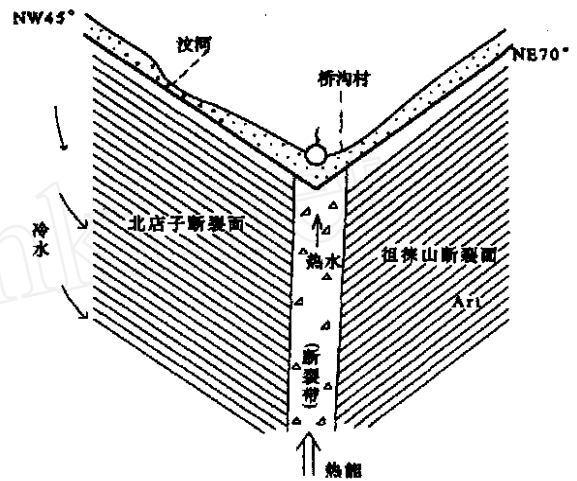


图7 桥沟地热田热储概念模型  
(剖面图)

### 3.3 热储温度估算

根据本区条件利用最大蒸汽损失的石英温标法计算

$$t( ) = \frac{1522}{5.75 - \lg C} - 273.15 \quad (1)$$

式中  $C$ — $\text{SiO}_2$  浓度(mg/L);

水质分析资料得: $C(\text{SiO}_2) = 7.5\text{mg/L}$ ,

计算得:热储温度  $t = 79.6$

### 3.4 桥沟地热田资源量计算

桥沟地热田现已开采10余年,热水开采量平均为  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,利用温度平均值  $16$  ( $40 \sim 22$ ),分布面积为  $304000 \text{ m}^2$  ( $380 \text{ m} \times 800 \text{ m}$ ),取热储温度  $79.6$ ,基础温度  $13.5$  (当地多年平均气温),热储厚度  $300 \text{ m}$  (一般开采水平),据原地质矿产部标准(DZ 40~85),用热储法计算地热资源量。

$$Q_R = C \cdot A \cdot d \cdot (t_R - t_f) \quad (2)$$

式中: $Q_R$ —地热资源量(kcal); $A$ —热储面积( $\text{m}^2$ ); $d$ —热储厚度(m); $t_R$ —热储温度(°C); $t_f$ —基础温度(°C)(这里取当地多年平均气温); $C$ —热储岩石和水的平均热容量( $\text{kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{°C}$ )。

$$C = c \cdot Cc(1 - ) + wCw$$

式中: $c$ 、 $w$ :分别为岩石和水的密度  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,这里取经验数,花岗岩的密度  $c$  为  $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ;水的密度为  $1\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $Cc$ 、 $Cw$ :分别为岩石和水的比热容( $\text{kcal}/\text{kg}$

· ) ,这里取花岗岩石和水的比热容分别为  $0.19 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  和  $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  ; :岩石孔隙度(裂隙度) ,这里取 为  $20\%$ 。

计算结果为 :  $C = 6.1 \times 10^2 \text{ kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ 。

热储资源量  $Q_R = C \cdot A \cdot d(t_R - t_f) = 1.1935 \times 10^{16} \text{ J}$  ,相当于  $40.7 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤产生的热量。

按地热资源量的取回收率为  $0.25$  考虑 ,计算出桥沟地热田可供开采的地热资源量为  $2.98 \times 10^{15} \text{ J}$  ,相当于燃烧  $10.2 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤产生的热量。按目前热水区年平均开采  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$  ,水的利用率为  $70\%$  计算 ,每年开采的热量为  $1.51 \times 10^{13} \text{ J}$  ,相当于每年消耗  $515 \text{ t}$  标准煤产生的热量。

以上计算可采资源量为  $2.98 \times 10^{15} \text{ J}$  ,每年开采的热量为  $1.51 \times 10^{13} \text{ J}$  ,则地热资源可稳定开采  $197$  年。

#### 4 结语

(1) 徂徕山断裂与北店子断裂在桥沟西相互切割 ,影响深度大 ,破碎带宽 ,使地壳深部热能沿断裂

这一通道上升。来自西北方向的地下水通过导水而贮水的北店子断裂向桥沟方向迳流汇集 ,得到来自深部热能的加热而升温 ,后受徂徕山断裂及东南部坚硬侵入岩、变质岩的阻挡上溢于汶河漫滩低洼处成桥沟温泉。属深循环对流型。

(2) 根据本区条件采用石英温标计算桥沟温泉热储温度  $79.6$  。可采资源量为  $2.98 \times 10^{15} \text{ J}$ 。

(3) 汶河河床挖沙量增大 ,河床储水砂层厚度下降  $1 \sim 2 \text{ m}$  ,使上溢后与第四系冷水相遇成为混合水的热水量减少。因此必须制止河床挖沙。

(4) 地下水是人类宝贵的自然资源 ,要合理开发利用和保护 ,建议进一步加强监测工作 ,与当地部门共同探讨地热资源的开发、利用前景 ,以便更大限度地为人类造福。

#### 参考文献 :

- [1] 刘善军. 山东地下水资源的形成与开发前景[J]. 山东地质, 1997, 13(2): 48 - 53.
- [2] 杨成田. 专门水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1980, 549 - 559.

## Evaluation of Geothermal Resource in Qiaogou Hot Spring in Tai an City

LIU Guo - ai , ZHAO Xin - hua , ZHU Hong - man , MAN Yuan , WANG Jun - lan  
(Shandong Geo - engineering Institute , Shandong Jinan 250014 , China)

**Abstract :** Qiaogou hot spring locates in contacting section of two faults , which belongs to tectonic hot - controlling. Hot water is formed by deep circulatory upwelling of meteoric water. Thermal reserve in Qiaogou hot spring is  $1.1935 \times 10^{16} \text{ J}$  , workable reserve is  $2.98 \times 10^{15} \text{ J}$  , and average working reserve is  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ . Through measuring reserve , Qiaogou hot spring can be explored  $197$  years stably.

**Key words :** Hot spring ; geotherm ; resource ; evaluation ; Tai an city ; Qiaogou