



威海市洪水岚汤温泉 地热地质特征及成因机制探讨

王聿军¹, 马祥县², 单伟²

(1. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

摘要:威海市草庙子镇洪水岚汤温泉是低温热水型地热田, 位于苏鲁造山带(I)胶南隆起(II)乳山-威海凸起的东部。热储位于印支期花岗岩构造破碎带内, 受NW、NE向断裂构造控制, 呈点状、带状分布, 洪水岚汤位于2个断裂构造交会处, 出露标高66.83 m, 平均水温71℃。根据流体化学特征分析, 洪水岚汤温泉热水来源主要是大气降水, 水化学类型按舒卡列夫法分类属 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ 型热泉, 氟、偏硅酸含量较高, 含有多种微量元素和放射性元素。

关键词:地热; 地质特征; 成因机制; 洪水岚汤温泉; 威海市

中图分类号: P314.1

文献标识码: A

地热是一种清洁、无污染的新型替代能源, 在满足人们对能源需求的同时还具有洗浴、疗养、养殖等方面的功效, 具有显著的经济和社会价值^[1]。威海市是著名的“中国温泉之乡”, 地热资源较丰富, 为合理开发利用地热资源, 对地热资源的系统勘查和综合评价是十分必要的。该文结合该地区的地热普查工作就威海市草庙子镇洪水岚汤温泉的地热地质特征和成因机制进行研究探讨, 以期对地热资源的勘查开发有所帮助。

1 区域地质特征

威海市洪水岚汤温泉在地质构造单元上属苏鲁造山带(I)胶南隆起(II)乳山-威海凸起的东部^[2]。地层分布以第四系为主, 中生界地层零星分布。第四系属全新统松散堆积物。主要分布在山间洼地, 现代河流两侧, 覆盖厚度1~10 m不等。区域构造以韧性变形为主, 脆性断裂构造次之。区内主要发育NE向和NW向2组断裂, 它们控制着地热流体的形成、赋存与运移。洪水岚汤出露在NW向断裂 F_1 与NE向 F_2, F_3, F_4 断裂的交会处(图1、图

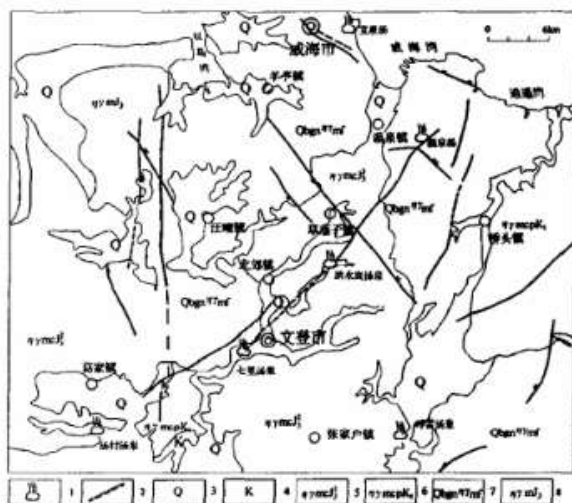


图1 威海市洪水岚汤地区区域地热地质图

1—温泉点; 2—实(推)测断层; 3—第四系; 4—白垩系; 5—文登超单元; 6—伟德山超单元; 7—荣成超单元; 8—玲珑超单元

2)。区域上岩浆岩广泛分布, 主要有文登超单元中粗粒二长花岗岩、伟德山超单元斑状中粗粒二长花岗岩、荣成超单元二长花岗质片麻岩和玲珑超单元中粒二长花岗岩^①。

收稿日期: 2010-11-06; 修订日期: 2010-11-22; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 王聿军(1962—), 男, 山东济宁人, 高级工程师, 主要从事地勘技术及管理工; E-mail: WYJ7915@163.com。

①山东省地矿工程集团有限公司, 山东省威海市环翠区草庙子镇阳泉地区地热资源普查报告, 2008年。

• 16 •

2 洪水岚汤温泉地热地质特征

2.1 地热地质条件

洪水岚汤温泉发育于文登超单元二长花岗岩岩体内, 热储为花岗岩的构造破碎带或裂隙带。热储呈

勘查资料表明: 洪水岚汤地热田热储埋藏深度一般在20~50 m, 局部可能大于50 m, 热储厚度400 m左右。洪水岚汤在未开采前, 热水自流, 目前自流现象已不存在, 但热水开采并在停抽后仍可自流。根据前期1 m地温测量结果, 地热中心区在洪水岚汤温泉中心区, 地温达75~78℃。热储量约100万m³。

2 洪水岚汤温泉地热地质特征

2.1 地热地质条件

洪水岚汤温泉发育于文登超单元二长花岗岩岩体内,热储为花岗岩的构造破碎带或裂隙带,热储呈带状或点状分布,受NW、NE向2组断裂构造控制明显,洪水岚汤温泉出露在NW与NE向断裂的交会部位。其中NE向断裂(F_3, F_4)为规模较大的张性断裂,总体走向NE 45°,倾向SE,倾角约60°~65°,破碎带宽度50~70 m,富水性良好;NW向断裂带(F_1)为压扭性阻水断裂带,走向NW 40°,南部倾向NE、北部倾向NW,局部近似直立。这些控矿构造既是热能储存场所,也是热能传输、运移的主要通道,为大气降水入渗补给及热水的运移提供了极为有利的条件^[3],洪水岚汤泉出露于NW向断裂带东侧,出露标高为66.83 m,平均水温71℃,涌水量为3.11 m³/h。

2.2 地温场特征

地球地温场和重力场、磁场、电场一样,同属于地球的物理场^[4],地热场是地球内部空间各点在某一瞬间的温度分布状况,它是时间、空间的四维向量函数。通过对洪水岚汤温泉进行1 m浅层地温测量显示,洪水岚汤温泉地热中心温度高达23℃,背景场13~15℃,绝对温差达10℃(图2)。

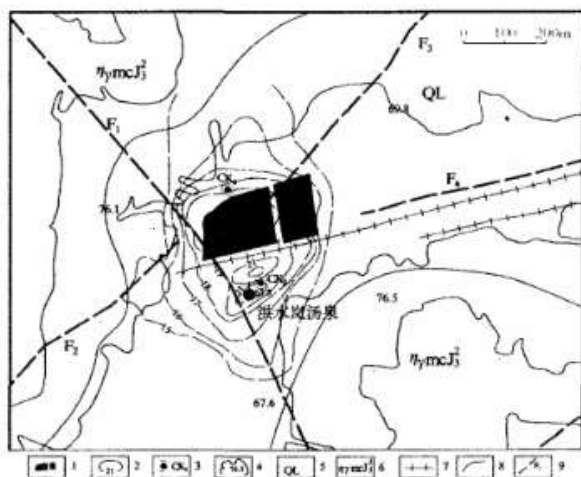


图2 洪水岚汤地热田1 m地温等值线图
1—汤泉养殖场;2—1 m地温等值线及温度(℃);3—钻孔及编号;4—地形等高点(m);5—临沂组;6—中粗粒(含斑)二长花岗岩;7—堤坝;8—地层界线;9—推断断裂构造及编号

勘查资料表明:洪水岚汤地热田热储埋藏深度一般在20~50 m,局部可能大于50 m,热储厚度400 m左右。洪水岚汤在未开采前,热水自流,目前自流现象已不存在,但热水开采并在停抽后仍可自流。根据前期1 m地温测量结果,地热中心区在洪水岚汤养殖场内,1 m地温达21~23℃,外围背景场温度13~15℃,地热中心区热水温度70℃左右。在养殖场南的洪水岚汤老浴池附近,也有2个规模较小的中心地热区,据钻孔资料,这一带水温在43~59℃之间,水温明显低于地热中心区。

洪水岚汤一带地热异常明显,预计地热田地热资源量 1.033×10^{16} J,可采资源量 8.26×10^{14} J。现区内已开发使用3口地热钻孔,井深100~150 m之间,水温均在70℃左右,最高水温可达82℃。据1 m地温测温资料,该地热田地热异常区面积为0.2 km²。其热储具有埋藏浅、厚度大、温度高的特点。

3 洪水岚汤温泉地热流体化学特征

3.1 地热流体的组分及动态化学特征

地热来源于地球内部,与地球的结构和物质组成密切相关,地下热水的水文地球化学作用主要是溶滤作用,化学成分主要受热水出露处岩性,以及循环深度内的基底岩性和来自深部气体的影响。

威海地区温泉基底岩性为古元古代和中生代侵入岩,温泉出露于比较活跃的几组方向不同的高角度断裂交会复合部位^[5,6],大气降水经深循环加热后,在有利的地质构造部位(张性断裂或断裂交叉部位),在静水压力下,沿断裂通道涌出地表而成温泉。洪水岚汤热泉属 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ 型热泉,其矿化度为0.901 g/L。

洪水岚汤泉与宝泉汤、大英汤等不同,它与海水的关系不大,受其影响甚微。

洪水岚汤温泉地下热水中氟、偏硅酸含量偏高,其中,氟的含量为4.04 mg/L,偏硅酸含量为126.73 mg/L。偏硅酸含量较高是由于温泉的基岩均为花岗岩,花岗岩中主要氧化物为 SiO_2 ,其含量达70%以上,地下热水在运移过程中,溶滤了这种物质,使水中偏硅酸含量较高。氟是卤族元素之一,具有与氯十分相近的化学性质,由于花岗岩中角闪石、云母族矿物质含有氟,且云母易溶于水,为氟在水中聚集的物质来源,同时,由于地下热水对岩石的溶滤作

· 17 ·

用,产生了有利于氟迁移和聚集的水文地球化学环境,使地下热水中氟含量较高。

洪水岚汤泉氟和偏硅酸含量均达到医疗热矿水标准,主要为氟水和偏硅酸热矿水,具有较高的医疗价值。另外洪水岚汤泉地下热水中含有锂0.62

从表1可以看出,洪水岚汤热水同位素 $\delta^2\text{H}$ (SMOW)(10^{-3})平均含量为-57.0, $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)(10^{-3})平均含量为-8.29。通过 ^{14}C 测定,其现代碳百分数及误差为 30.76 ± 0.555 , 26.671 ± 0.195 ;另外,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (10^{-3})值(-7.823, -7.252)也接近于

用,产生了有利于氟迁移和聚集的水文地球化学环境,使地下热水中氟含量较高。

洪水岚汤泉氟和偏硅酸含量均达到医疗热矿水标准,主要为氟水和偏硅酸热矿水,具有较高的医疗价值。另外洪水岚汤泉地下热水中含有锂 0.62 mg/L,锶 1.28 mg/L,溴 0.38 mg/L,碘、锰 0.06 mg/L等微量元素和镭 35.8 mBq/L,氡 433.1 mBq/L,钍 0.28 Bq/L,铀 0.27 Bq/L等多种放射性元素。其 pH 值在 6.9~8.2 之间,多年平均 pH 值为 7.6。

3.2 热储温度

温泉和地热田通常用地球化学温标来估算热储温度及预测地热田潜力,在水岩地化平衡条件下,地热流体中与平衡温度存在依从关系的化学组分浓度或浓度比值;这个方法的基础是:水热流体在热储温度下与矿物质达到了化学平衡,且随后流体温度降低时这个平衡仍保持不变,因此利用这些化学组分浓度或浓度比值,可推算热储温度或深部温度。用各种化学、同位素计算热储温度的方法很多,由于洪水岚汤泉地热田热储埋藏较浅,厚度大,且属于低温地热资源,采用 K-Mg 地热温标、Na-K 地热温标和 SiO₂ 地热温标,进行地球化学地热温标计算。

Na-K 地热温标和 SiO₂ 地热温标计算的地球化学温标温度计算洪水岚汤泉,分别为 248.91℃ 和 147.64℃。洪水岚汤泉地热出露温度 72℃,2006 年井中测温最高值 82℃ 则与 K-Mg 地热温标计算结果平均 102.53℃ 较为相近,其余计算方法皆偏高较多,是否预示着该处蕴藏有深部热储尚须进一步论证。

3.3 同位素化学分析

在地热勘查与研究中,通常应用同位素化学分析方法测定地下热水的年龄,推算深部热储的温度,查明热水中物质成分的来源及确定热水的成因和形成过程等^[7]。经取样分析,化验结果见表 1。

表 1 威海市洪水岚汤同位素化学结果

检测编号	$\delta^2\text{H}$ (SMOW) (10 ⁻³)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) (10 ⁻³)	现代碳百分 数及误差	样品年代 及误差(年)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (10 ⁻³)
0741	-56.7	-8.01			
0742	-57.3	-8.57			
07Y250			30.76 ± 0.555	9746 ± 162	-7.823
07Y251			26.671 ± 0.195	10923 ± 79	-7.252

• 18 •

从表 1 可以看出,洪水岚汤热水同位素 $\delta^2\text{H}$ (SMOW) (10⁻³) 平均含量为 -57.0, $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) (10⁻³) 平均含量为 -8.29。通过 ¹⁴C 测定,其现代碳百分数及误差为 30.76 ± 0.555, 26.671 ± 0.195; 另外,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (10⁻³) 值 (-7.823, -7.252) 也接近于地表淡水平均 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (10⁻³) = -8.5, 同时,根据 ¹⁴C 同位素测定结果,测试样品年代 9746 ± 162 ~ 10923 ± 79 年,由此推断阳泉地区洪水岚汤热水主要来源于大气降水。

4 洪水岚汤温泉成因机制

4.1 概念模型建立

洪水岚汤温泉概念模型(图 3)是按一般理论和经验推断确定,属概念型模型,主要依据包括以下 5 个方面^[5]:

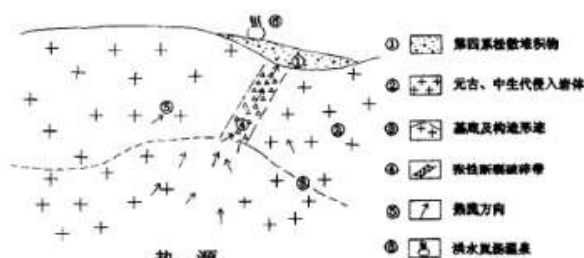


图 3 洪水岚汤温泉概念模型

(1) 温泉出露区的基底岩性为中生代燕山期花岗岩和元古—太古界片麻岩,它们的导热率分别为 24.3~41.0 J/kg·K 与 21.8~31.0 J/kg·K,属导热率较高的岩性。由于 NW 向和 NE 向活动性构造的影响,更加强了岩石的导热性。因两方面断裂产状均较陡立,影响深度大,加上不断活动,有利于地热的传导。上部第四系含水砂砾石层,导热率也高达 34.3 J/kg·K,而表层潜水位以上的干砂及风化壳粘质砂土等,导热率仅有 4.2 J/kg·K,相应地起了隔热保温作用。

(2) 前人研究成果表明:地下深部的等温面,一般不是平的,不仅在隆起带和沉陷带有着明显不同,即在背斜及向斜区热流分布也有着明显差异。该区构造单元处在胶南隆起的东端,温泉又分布在乳山—威海凸起边部,热流埋深相应较浅。同时在凸起轴部发育 NW 向和 NE 向断裂,这就给深部热源向上部传导创造了条件。加上破碎的断裂带,有利于地下水的下渗(根据湿润岩层比干燥岩层导热性强的

特点),更加有利于热流上升。

(3) 胶东地热调查初步统计表明:威海市已发现的 9 处温泉和发现热水的数十个钻孔的上覆地层岩性均为第四系松散层^[8],可见第四系松散层对温泉形成起了保温作用。其一,含水的砂砾石层导热率高达 34.3 J/kg·K,有利于热流传导和储存。其

加,蒸气压力逐渐增大,它一方面通过热传导加热上部的岩石,再由这些岩石使深部循环水变热;另一方面可能有部分岩浆蒸气沿着岩石的微细空隙向上渗透进入深循环水中,使水温增高。当热水系统的上部不存在隔水盖层时,只要温度、渗透通道的深度足以能维持水的对流循环时,即可形成由补给、加热

特点),更加有利于热流上升。

(3)胶东地热调查初步统计表明:威海市已发现的9处温泉和发现热水的数十个钻孔的上覆地层岩性均为第四系松散层^[8],可见第四系松散层对温泉形成起了保温作用。其一,含水的砂砾石层导热率高达 $34.3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$,有利于热流传导和储存。其二,潜水位以上的干燥砂导热率为 $4.2 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$,二者导热率最低,起了良好隔热保温作用。其三,第四系松散层孔隙水富集,成为地下热水的补给源。

(4)根据对洪水崮汤温泉的水位、涌水量、水温、水化学等的动态变化观测,发现上述要素均有明显的季节变化,最高水位出现在7—8月,最枯水位出现在5—6月,其动态与第四系孔隙潜水动态变化基本吻合且稍有滞后,滞后期1~2个月。说明主要靠大气降水补给。

(5)威海市9处温泉的基底岩性为花岗岩及片麻岩,其地热增温率,属最小者,平均为 $0.1 \sim 1.0^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。洪水崮汤热水温度最高 72°C ,最低 50°C ,平均 63°C 。如果按照增温率,地下水通过深循环而形成温泉,其循环深度要达5 000 m以上。因此,随着深度加深,地压力越来越大,岩石破碎程度随深度越来越差,因而地下水深入到5 000 m以下深度循环难以进行,且区内花岗岩、片麻岩风化深度一般 $15 \sim 25 \text{ m}$,最深达40 m,裂隙均不发育,并多被充填,而常温裂隙水富水性一般小于 $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据以往勘探资料及该次地热深部物探勘查信息分析认为该地地下水循环一般多在埋深20~400 m以内的构造裂隙带、风化裂隙发育带及第四系松散层中循环。

4.2 成因机制探讨

洪水崮汤地热田属于低温热水型地热田,热水型地热田是以含热水为主,受水的连续压力所控制的对流循环地热系统,在该系统中有时也含有一些蒸气。近年来对高温热水及蒸气同位素的研究已证实,地下热水主要来源于大气降水,某些与岩浆活动有成因联系的热水中可能含有部分来自岩浆的水,一般不超过5%~10%。

一般认为地热田的形成机理是:岩浆侵入地壳形成规模较大的岩浆热源体后,随着温度、压力的下降产生结晶分异作用,使残浆中的水分含量不断增

加,蒸气压力逐渐增大,它一方面通过热传导加热上部的岩石,再由这些岩石使深部循环水变热;另一方面可能有部分岩浆蒸气沿着岩石的微细空隙向上渗透进入深循环水中,使水温增高。当热水系统的上部不存在隔水盖层时,只要温度、渗透通道的深度足以能维持水的热对流循环时,即可形成由补给、加热及排泄等部分组成的地热田。

5 结语

(1)威海市洪水崮汤温泉除受区域性构造控制外,温泉的出露则受NW向和NE向断裂的直接控制。

(2)洪水崮汤地热田的热储为花岗岩的构造破碎带或裂隙带,呈带状或点状分布,具有埋藏浅、厚度大、温度高的特点。

(3)洪水崮汤地热田水化学类型,属 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ 型热泉。氟、偏硅酸含量较高是该地热田的(温泉)主要特征,同时含有多种微量元素和放射性元素,pH值呈弱碱性。

(4)洪水崮汤地热田属于低温热水型地热田,基岩和含水的砂砾石层有利于热流传导和储存,潜水位以上的干砂及风化壳粘质砂土等具有隔热保温的作用,而第四系松散层孔隙水富集,成为地下热水的补给源。

参考文献:

- [1] 孔庆友,张天祯,于学峰,等.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006.
- [2] 山东省地质矿产局.区域地质志[M].北京:地质出版社,1992.
- [3] 郭士昌,姚春梅,徐品,等.临沂市地热地质条件及开发利用效益分析[J].山东国土资源,2009,25(3):31~34.
- [4] 王丰军,汤立成.山东邹平火岩盆地铜矿地质和地球物理特征矿床成因探讨[J].山东国土资源,2008,24(9):19~23.
- [5] 王丰军.电法在某山区的找水效果[J].物探与化探,1999,(5):351~355.
- [6] 王丰军.贫水山区电法找水应用实例[J].地质与勘探,2001,(3):73~74.
- [7] 泰勒,D.E.怀特.水文地质学[M].北京:地质出版社,1978.
- [8] 刘昌军,李仁丽.文登市地热资源现状及开发建议[J].山东国土资源,2010,26(5):53~55.

(下转第24页)

Correlation between the Distribution of High Iodin Endemic Goitre and Geochemical Environment in the Downstream Region of the Yellow River in Shandong Province

PANG Xugui¹, CHEN Jian², WANG Hongjin¹, BIAN Jianchao³, LI Xiaopeng¹

(1. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Geological Surveying and Mapping Institute, Shandong Jinan 250013, China; 3. Shandong Institute of Controlling Endemic Diseases, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: The downstream region of the Yellow River in Shandong province is serious illness area of endemic fluorosis. On the basis of regional surveying, choosing 4 typical counties as studying areas, such as Yuncheng, Jiaxiang, Dongchangfu and Boxing county, the indexes of iodine content in soil, drinking water, iodine content in emiction and hypothyroid cubage and the ratio of goitre from children are studied. As showed by the results, it is indicated that the iodine content is universal higher in drinking water and emiction, the harm of high iodine and the endemic goitre due to high iodine are serious. On the basis of analyzing the distribution and the change law of iodine in soil and drinking water, the correlation between high iodine endemic goitre and geochemical environment are studied. It is showed that high iodine endemic goitre has positive correlation with iodine in drinking water, but it does not have obvious correlation with iodine in soil.

Key words: High iodine endemic goitre; geochemistry; the ratio of goitre; correlation analysis; the downstream region of the Yellow River in Shandong province

(上接第19页)

Study on Geological Characteristics and Origin Mechanism of Hongshuilantang Hot Spring in Weihai City

WANG Yujun¹, MA Xiangxian², SHAN Wei²

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Hongshuilantang geothermal spring in Caomiaozi town of Weihai city is low temperature type geothermal field. It located in the east part of Rushan - Weihai uplift of Jiaonan uplift (II) in Sulu orogen belt (I). Geothermal reservoir located in the fracture zone of Indosinian granites, controlled by faults with the trend of NW and NE, and distributed in point and ribbon type. Hongshuilantang geothermal spring located in the intersection of two faults. Its exposed elevation is 66.83m and average water temperature is 71 °C. According to the analysis of chemical characteristics of fluid, the hot water source of Hongshuilantang geothermal spring is precipitation, water chemistry types are HCO_3^- , SO_4^{2-} - and Na^+ thermal springs according to the classification method by Shukaliefu. Fluoride and silicic acid contents are high, and containing many trace elements and radioactive elements.

Key words: Hongshuilantang geothermal spring; thermal reservoir; geothermal characteristics; genetic mechanism; Weihai city