

# 王家庄地热田成因及地热资源评价

董 超,甘朝辉,肖友发

(湖北省第四地质大队,湖北 咸宁 437100)

**摘 要:** 本文在分析湖北省通山县王家庄地热田区域水文地质条件的基础上,探讨了地热田的地热地质条件、地球物理特征及其成因,同时对地热田地热资源进行了评价,并针对地热田的现状提出了开发方案及建议。

**关键词:** 地热田;地质条件;地球物理特征;断裂破碎带;地热资源评价;王家庄

中图分类号:P314;TK521

文献标识码:A

文章编号:1671-1556(2012)01-0043-05

## Genesis and Geothermal Resource Evaluation of Geothermal Field at Wangjiazhuang

DONG Chao,GAN Chao-hui,XIAO You-fa

(The 4th Geological Brigade of Hubei Province,Xianning 437100,China)

**Abstract:** Based on the analysis of the regional hydrological conditions of Wangjiazhuang geothermal field in Tongshan County, this paper discusses the geothermal geological conditions, geophysical characteristics and genesis of the geothermal field, evaluates its resources and proposes the development plan and suggestions for it.

**Key words:** geothermal field;geological condition;geophysical characteristic;fractured zone;geothermal resource evaluation;Wangjiazhuang

### 0 引 言

近年来,作为绿色能源的地热资源得到了广泛的重视,利用地下热水(温泉)开展医疗保健、温泉旅游及温泉种植养殖等已有了良好的开端,目前正向合理开发、全面利用、提高效益、促进社会经济可持续发展的方向拓展。

本文在重点勘查湖北省通山县王家庄一带地热田构造性质和规模的基础上,研究了地质构造对该地热流体分布的控制、地热流体与径流的关系以及地热流体补给与排泄通道等,并计算评价了王家庄地热田可开采量、水质、水温等参数,取得了较好的勘查效果。

### 1 王家庄地热田地质环境条件及水文地质条件

#### 1.1 水文气象条件

王家庄地热田地处湖北省通山县王家庄。该地

区气候条件属中亚热带季风气候,温和多雨,雨季多集中在4~6月份,年平均温度为14.3℃,最高温度为40℃,最低温度为-9℃,年平均降雨量为1765 mm,年平均蒸发量达1250 mm,相对湿度为80%,无霜期250 d左右。区内山间溪流发育,大多发源西南高山,向东北径流汇集到黄土坪,且流出境外。

#### 1.2 地形地貌条件

王家庄地热田地处鄂南中低山区,山脉走向北东东向,当地最高海拔高程为1385.9 m,最低侵蚀基准面标高为307 m,属中浅切割区,且沟谷纵横,地形较陡峭,冲沟呈“V”型谷,植被较发育,多为乔木或灌木。

#### 1.3 地层岩性

王家庄地热田范围内分布的主要地层有第四系全新统冲洪积地层( $Q_{pl}^{al}$ )、元古界冷家溪群坪原组地层( $Pt_2p$ )及中生界侏罗系侵入世沙店花岗岩体( $J\eta\gamma$ ),见图1。

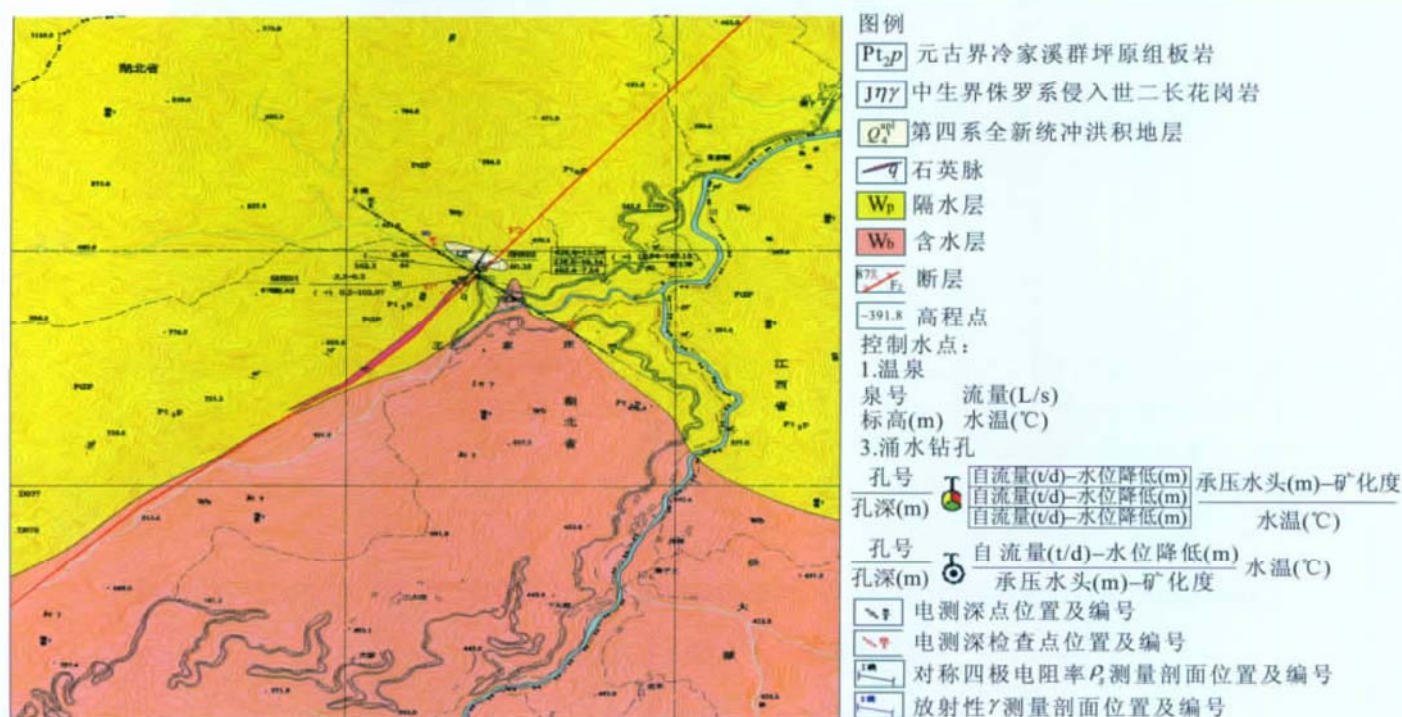


图 1 王家庄地热田水文地质图

Fig. 1 Hydrological map of Wangjiazhuang geothermal field

元古界冷家溪群坪原组地层( $Pt_2p$ )分布于区内北部及北东部的山坡上,岩性主要为黄绿色、灰绿色、灰色变质粉细砂岩、板岩。

中生界侏罗系侵入世沙店花岗岩体( $J_1\gamma$ )主要在工作区的北部及南部出露,岩性主要为浅灰色、灰色中细粒黑云母二长花岗岩。

第四系全新统冲洪积地层( $Q_4^{ap1}$ )主要分布于王家庄溪沟东侧,表层为水田,上部种水稻,下部为灰黄色卵砾石、砂土等。

#### 1.4 地质构造

王家庄地热田勘查区位于长江中下游区域性东西向隆起带与新华夏系第二隆起带之鄂城—大幕山次级隆起亚带的反接复合部位,主要区域构造为九宫山复式背斜,属幕阜山复式背斜的北翼部分,呈线型褶皱,轴向近东西向,核部地层为元古界冷家溪群,两翼为震旦系、寒武系、志留系地层,构造带内断裂极为发育,主要有近东西向和北东、北北向基底断裂,并控制着岩浆岩大面积侵入。王家庄地热田的出露主要受新华夏晚期构造的控制,主要与北北东向鸡冠岩—王家庄断裂( $F_2$  断层)有关。 $F_2$  断层处于区域九宫复式背斜的核部,从局部来看,它与线性褶皱呈斜交的关系,地热田出露地段为  $F_2$  断层与王家庄冲沟交汇处, $F_2$  断层与冲沟切割热储层导致热流体涌出。可见, $F_2$  断层是与地热流体密切相关的构造。

## 2 王家庄地热田的地热地质条件及其成因

### 2.1 热储盖层

王家庄地热田的北西、北及南东均为元古界冷家溪群坪原组( $Pt_2p$ )变质粉细砂岩、板岩,由于岩石中含泥质成分,其透水和储水性能差,在局部地段发育的断裂和裂隙均被泥质充填,因此岩石的热传递性能较差,且与下部、南部的中生界侏罗系侵入世( $J_1\gamma$ )的中细粒黑云母二长花岗岩形成“U”形箱状构造,上部的泥质岩石形成天然的盖层,阻止了热量的散失,对下伏热流场的热源起到了保温作用,是地热区的热储盖层。另外,沿断裂的顶部充填有大量的石英脉,有的区段全由石英岩构成,据钻孔揭露该石英岩致密坚硬,在断裂带上部形成天然的盖层,阻止了热量的散失和热水的流通,是地热田断裂带的热储盖层。

### 2.2 地热田的地球物理特征<sup>[1]</sup>

为了了解岩浆岩的分布情况、岩浆岩与坪原组板岩的接触关系以及构造带的深部延伸情况,在地热田区内垂直区域构造  $F_2$  断层方向共布设 3 条电阻率测深及天然放射性  $\gamma$  射线测量综合剖面进行地球物理勘探,其结果见图 2。

由地表热泉附近的 II 号物探综合剖面[见图 2



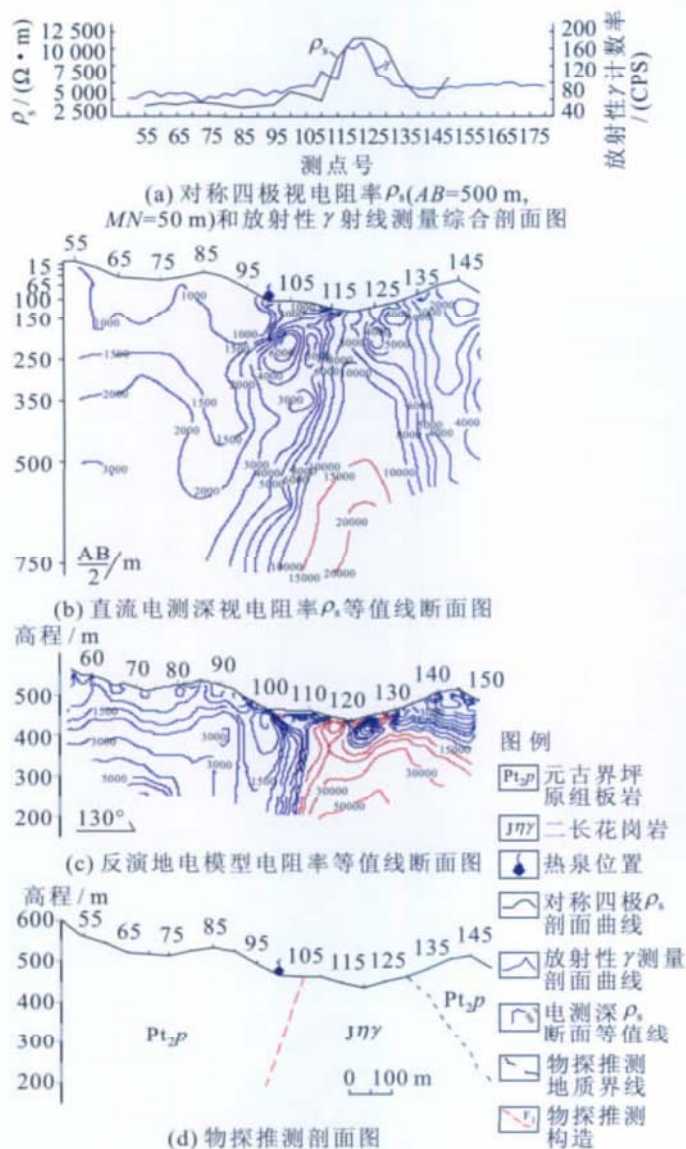


图2 王家庄地热田Ⅱ号物探综合剖面

Fig. 2 II geophysical comprehensive profile of Wangjiazhuang geothermal field

(a)可见:在剖面110~130测点间存在一明显的视电阻率 $\rho_s$ 高阻异常及放射性 $\gamma$ 计数率高值异常,该高阻异常的 $\rho_s$ 值为 $5\,000\sim 12\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ ,放射性 $\gamma$ 计数率在 $80\sim 170$  CPS之间;剖面110测点的西北侧 $\rho_s$ 值在 $2\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ 左右平缓变化,放射性 $\gamma$ 计数率约为50 CPS;剖面110测点的东南侧视电阻率 $\rho_s$ 值在 $4\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ 左右,放射性 $\gamma$ 计数率在70 CPS左右平缓变化;剖面两侧未见明显的视电阻率 $\rho_s$ 与放射性 $\gamma$ 计数率异常。

由图2(b)可见:在剖面110~130测点间 $\rho_s$ 断面等值线呈倒“V”字形向深部延伸,剖面145测点附近由于叠加山脊地形影响,形成一相对低阻异常区,在剖面110测点西北侧 $\rho_s$ 等值线梯度带可以认为是沿北东走向的断裂带 $F_2$ ,目前地表发现的热泉正位于该断裂北侧的变质砂岩内。通过数据格式转

换,利用高密度二维反演软件 RES2DVIN 进行带地形的自动反演,结果更清晰地反映了上述板岩、岩体及构造的 $\rho_s$ 异常特征[见图2(c)]。

结合物性测量成果,剖面上110~130测点间的高阻、高放射性 $\gamma$ 射线异常为二长花岗岩的反映,两侧为相对低阻、低放射性 $\gamma$ 射线的变质砂岩的反映,断裂构造 $F_2$ 呈 $70^\circ\sim 80^\circ$ 的倾角往深部延伸。

### 2.3 控热、导热及热储构造

王家庄地热田的出露主要受新华夏晚期构造的控制,主要与北北东向鸡冠岩—王家庄断裂( $F_2$ )有关。 $F_2$ 断层出露于果坪至楼下一线,全长约24 km,位于测区中部,图幅内的长度约为6.5 km,走向北东 $46^\circ\sim 65^\circ$ ,断面倾向北西,倾角为 $69^\circ\sim 88^\circ$ ,错断冷家溪群及沙店花岗岩体,属平推性质的张断层。 $F_2$ 断层出露宽几至十几米,南段最宽处达20 m,沿断裂形成硅化破碎角砾岩带,并充填有大量的石英脉,有的区段全部由石英充填,靠近断层旁侧的围岩可见硅化、绿泥石化、沸石化现象,同时该断层硅化碎裂岩带裂隙孔洞及石英晶洞特别发育,为地热流体的储存和运移提供了有利的空间,也为本区的主要储热和导热断层。另外, $F_2$ 断层在地貌上形成深切凹陷或陡崖,在断层上盘的北侧出露了王家庄温泉。

### 2.4 地热田的形成原因分析

王家庄地热田的形成是地形地貌、地质构造、地层岩性和水文地质条件等共同作用的结果(见图3)。

根据同位素资料分析,王家庄地热田区内地热流体的主要来源为大气降水,且为高山降水补给,地热田的补给高程效应在1 000 m左右,根据 SHK02 孔的测井测温资料来计算其地温梯度,则为 $G = \Delta T / \Delta Z = (50.2 - 47) / (60 - 21.4) = 0.083\,^\circ\text{C}/\text{m} = 8.3\,^\circ\text{C}/100\text{m}$ ,根据水质分析计算得该地热田的基准温度为 $154.3\,^\circ\text{C}$ ,由此可大致推算出该地下热水的循环深度。如钻孔深21.4 m、水温 $47\,^\circ\text{C}$ ,假设地温梯度为均匀的 $8.3\,^\circ\text{C}/100\text{m}$ ,则地下热水的循环深度可近似为: $H = (154.3 - 47) / (8.3 / 100) + 21.4 = 1\,314\text{ m}$ 。

当大气降水沿南西翼裸露地表的九宫山及沙店花岗岩体地区下渗后,形成地下凉水,在重力的作用下,地下凉水一部分以侧流的形式向坡脚处以下降泉的形式排泄,而大量的地下凉水主要在花岗岩的风化裂隙及次级构造破碎带的径流系统中向南东参与深部循环,在其下渗的过程中吸收了大地热流所释放的热能而逐渐增温,并且与围岩发生化学反应,形成了有别于地下冷水的水化学类型;当径流至王家庄附近时,受王家庄地热田地热流体出露的断裂

$F_2$  控制,该断层属切割基底的正断层(平推性质),加之断裂破碎带裂隙孔洞及石英晶洞特别发育,且连通性好,为地热流体的储存和运移提供了有利的空间,可将侵入岩体的热流、热汽等导通到地热田

处,地下水通过断层深部循环并经地温本身加热而形成了热水,部分热流沿节理裂隙或破碎带向地面扩散,部分地热流体沿断裂破碎带上涌,并以温泉或其他热异常的方式出露于地表,形成了地热田。

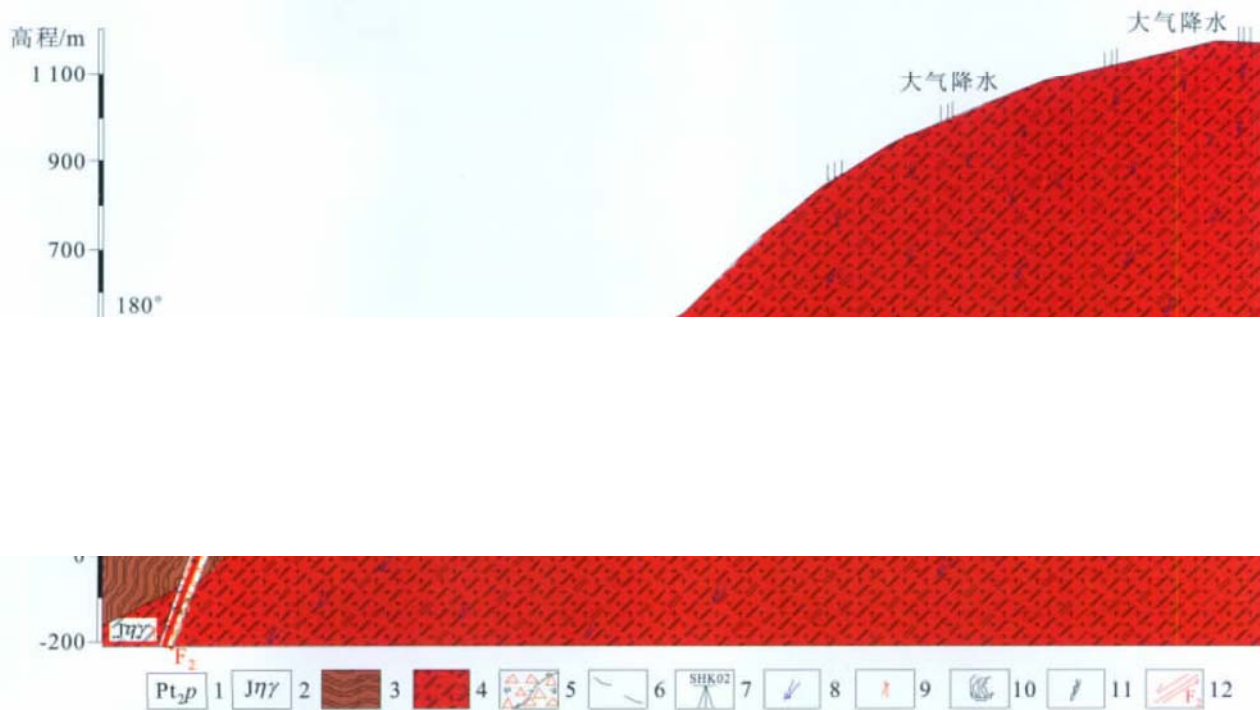


图 3 王家庄地热水成因示意图

Fig. 3 Genesis scheme of Wangjiazhuang geothermal water

1. 元古界冷家溪群坪原组; 2. 侏罗系侵入岩; 3. 变质砂岩隔水层; 4. 二长花岗岩裂隙含水层; 5. 沸石化硅化碎裂岩; 6. 物探推测地质界线; 7. 钻孔位置及编号; 8. 冷水径流方向; 9. 热水径流方向; 10. 温泉位置; 11. 石英脉; 12. 正断层

地热流体在上升过程中,一方面由于热扩散和热传递,另一方面由于附近地下冷水的混入,使地热流体温度降低(区内实测的水温最高为  $50^{\circ}\text{C}$ )。据 SHK02 孔的资料揭露,本地热田的地下热水为承压水,钻孔揭穿上部盖层到达断层破碎带后,地下热水喷出地表,测得其承压水头高出地表约 13 m,喷出量达  $700\text{ m}^3/\text{d}$ ,如果钻孔孔径加大,其涌水量可能会更大。

根据物探资料,该区的黑云母二长花岗岩具有较高的天然放射性  $\gamma$  强度,而区内的热泉是否为深部局部富集的放射性物质衰变产生的热能加热高山降水下渗冷水所致,值得今后的地质工作中加以研究及验证。

### 3 王家庄地热田地热资源量计算<sup>[2]</sup>

根据王家庄地热田的地热地质条件,并结合《地热资源评价方法》(DZ40-85)以及有关地热资源评价的成果,采用自然放热量推算法对该地热资源进

行计算,其计算公式为

$$Q = q_v \cdot C \cdot \rho_w \cdot (t_r - t_i) \quad (1)$$

式中:  $Q$  为温泉的放热量 ( $\text{kcal}/\text{s}$ );  $\rho_w$  为水的密度 ( $\text{kg}/\text{L}$ );  $C$  为水的比热 ( $\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ );  $q_v$  为温泉和热水井(孔)的天然流量 ( $7.87\text{ L}/\text{s}$ );  $t_r$  为温泉的水温 (取  $50^{\circ}\text{C}$ );  $t_i$  为当地多年平均气温 (取  $14.3^{\circ}\text{C}$ )。

由于采用地表测量的放热量推测地下热量是假定地下热量与自然放热量成正比例的倍数关系,这种倍数一般从几倍到 1 000 倍,因此本次计算依据《地热资源评价方法》(DZ40-85)标准取 10 倍作为通山县王家庄地热田地下热量相对于自然放热量的倍数,以确定该地热田的地热储量。

经过计算,王家庄地热田的地热资源量为  $8.8603 \times 10^{10} \text{ kcal}/\text{a}$ 。该地热储量折合发电量为  $8.8603 \times 10^{10} \div 860 = 1.03 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ;折合电能为  $1.03 \times 10^8 \times 3.6 = 3.709 \times 10^8 \text{ MJ}$  ( $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \text{ MJ}$ );折合标准煤为  $8.8603 \times 10^{10} \div 7000 \div 1000 = 1.2657 \times 10^4 \text{ t}/\text{a}$ 。该地热田如按《地热资源地质勘查规范》(GB11615-2010)要求服务年限



100 a 计算,则其热能为  $1\,011.5\times 10^4$  kcal/h,在国家标准  $860\times 10^4\sim 4\,300\times 10^4$  kcal/h 之间,所以王家庄地热田规模应属中型地热田。

本次地热资源评价是在充分收集利用前人已有资料并查明了热储的特征的基础上进行的,其储量计算的主要参数具有可靠性,并通过对地热流体的动态监测,掌握了一年的动态监测资料,达到了预期可行性勘查控制的热储存量。

4 王家庄地热田地热流体的水质评价<sup>[2]</sup>

地热田地热流体质量主要指地热流体的温度(能量)、化学成分的品位。其品位的高低直接决定了地热田的开发利用及社会经济价值。本研究主要依据我国现行的有关评价标准对王家庄地热田地热流体的质量进行评价。

根据《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615-2010),对王家庄地热田理疗热矿水的水质进行评价,其结果见表 1。由于 SHK02 孔为该地热田的主要涌水钻孔,因此该钻孔的地下热水质量基本可以反映该地热田的地热流体的水质状况。

表 1 王家庄地热田理疗热矿水水质评价结果(mg/L)  
Table 1 Evaluation results of the quality of hot water for physical therapy at Wangjiazhuang geothermal field

项目	二氧化碳	氟	锶	锂	锰	偏硅酸	温度/ (℃)	矿化度	评价 结果
有医疗 价值浓度	250	1	10	1	1	25	≥34	<1 000	
命名矿 水浓度	1 000	2	10	5	—	50			
SHK02 孔	0.0	12.28	0.0	0.1	<0.02	149.45	50	284.14	氟水、 硅水

由表 1 可以看出:王家庄地热田的水质为低矿化度的温热淡水,地下热水中的氟、偏硅酸均达到医疗用矿水命名浓度,具有很好的医疗用途。经资料查证,含氟达到医疗用矿水命名浓度的,长期洗浴会对人体各种皮肤和关节疾病以及创伤、烧伤、痔疮病等具有良好的医疗保健作用,同时还可以湿润皮肤,促进机体各种代谢;而偏硅酸达到医疗用矿水命名

浓度,长期洗浴会对人体皮肤粘膜有洁净、洗涤、消退作用,还可以治疗湿疹、牛皮癣、荨麻疹、瘙痒症、阴道炎、附件炎、妇女生殖器官粘膜疾病等。另外,该地热流体中砷含量、氟含量和 pH 值均超过国家标准,且口味略酸涩,具硫磺味,因此不能作为生活饮用水或饮用热矿水,而地热流体中温度和氟化物高也不能直接作为农业灌溉用水,但可以用来进行渔业养殖。综上所述,王家庄地热田地下热水适用于医疗、洗浴、温室、土壤加温等。

5 结论与建议

(1) 湖北省通山县王家庄地热田地热资源目前推测可开采量为 2 000 t/d,采用自然放热量推算法评价该地热田属中型地热田规模,地热流体最高温度为 50℃,属低温地热资源;地下热水属含氟水、硅水,适用于医疗、洗浴,不宜直接作为饮用热矿水和生活饮用水,也不宜直接用于农田灌溉,但可用于渔业养殖、温室、土壤加温等。

(2) 针对该地热田的特点,建议企业开发时可采取以下措施降低其风险程度:①调整开发战略,对开发地点、投资规模、开发模式、经营项目等进行综合比选,选择合适的布局方案,以求发挥出最大的投入与产出比;②对地热田地热资源的开发利用可走多阶段循序渐进的开发步骤,即统一开发、综合利用、控制地热开采量,同时变集中开发为分散开发、变单一开发为多功能开发;加强水量、水位、水质、水温、钻孔地温梯度监测,定期对地热田的资源量进行核查;针对该地热田的地理位置特点,即距九宫山风景区直线距离不到 20 km、距太坪山风景区直线距离不到 5 km,可联合以上风景区共同开发,形成集旅游、休闲、娱乐为一体的联合开发方式,以降低开发风险,提高投资效益。

参考文献:

[1] 董超. 湖北省通山县王家庄地热田普查报告[R]. 武汉:湖北省地质调查院,2011.  
[2] 张勇. 综合物探方法在王家庄地热田勘查中的应用[J]. 物探与化探,2010,34(6):810—813.