第42卷 第1期
2021年3月

华 东 地 质
EAST CHINA GEOLOGY

Vol.42 No.1
Mar. 2021

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.01.006
引用格式:秦贞娜,许强平,张骁. 安徽和县香泉镇地热资源地质特征及其开发利用与保护建议[J]. 华东地质,2021,42(1):46-54.

安徽和县香泉镇地热资源地质特征及其开发利用与保护建议

秦贞娜[1],许强平[1],张 骁[2]

(1.安徽省地质矿产勘查局 327地质队,安徽 合肥 230011;2.安徽省勘查技术院,安徽 合肥 230031)

摘要: 安徽和县香泉镇因泉水香气飘溢而得名,泉水温度为47 ~ 50 ℃,水中富含硫、钙等多种矿物质和微量元素。根据在该区开展的地热地质调查、地球物理勘探、地球化学测量、抽水试验以及岩土水样分析测试等工作,在阐述和县香泉地热地质背景的基础上,对区内地热田热储、地热资源量及热水特征进行评价。结果表明:香泉镇地热田属裂隙-岩溶型带状热储,赋存中低温岩溶热水,水化学类型为SO_4-Ca·Mg型,属氟、偏硅酸理疗热矿水。根据香泉镇地热资源分布特点、地热流体特征以及开发利用现状,提出供暖、理疗、温室种植、养殖的梯级开发利用方案,并提出开展区内地热流体动态监测、加强废水排放以及开发利用管理的保护建议。

关键词: 地热田;地热资源;热储;开发利用;香泉镇

中图分类号:P641 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1871(2021)01-046-09

安徽和县香泉镇地处皖东地区,交通便利,因泉水香气飘溢而得名。区域上,香泉地热田位于滁河断裂与张集—沙溪断裂之间,属于上地壳第二构造层,莫霍面较浅,大地热流值较高,地球物理和地球化学异常明显[1]。虽然香泉地热资源已部分开发利用,但对其地质特征及开发保护等方面的研究较少,仅对泉水出露及民井调查[2]、地热资源开发利用[3]和资源开发利用动态监测[4]等方面进行过探讨与研究。

香泉镇地热资源水位埋藏浅、温度适宜、水量较大,水质符合理疗热矿泉水水质标准[14],其开发利用前景十分广阔[5]。目前,香泉镇地热田可开发利用的仅为F_1地热井,科学合理地开发利用地热资源值得进一步规划和研究[1-6]。本文在充分收集并利用已有地质勘查、生产勘探等资料的基础上,根据区内开展的水文地质及地球物理测量工作,在阐述和县香泉地热地质背景的基础上,对地热田热储、地热资源量及热水特征进行评价,根据目前开发利用现状,提出科学合理的开发利用与保护建议。

1 地热地质背景

1.1 地层

香泉地热田出露的地层主要有奥陶系、志留系及泥盆系。奥陶系主要分布在眉山和小龙王山、晓山的山脊及钻孔中,岩性主要为硅质岩、白云岩、灰岩、硅化角砾岩;志留系零星分布于小龙王山—晓山硅化角砾岩带两侧及小山颈一带,岩性主要为页岩、细砂岩及粉砂质页岩;泥盆系主要分布在长山、朱家山及麻家山一带(图1),岩性主要为中厚—厚层含砾砂岩。区内施工的F_1地热井钻孔揭露的岩性主要是硅、铁质角砾灰岩及灰岩。

1.2 断裂

区内以NE向和NW向断裂为主,地层层间破碎带发育,NE向断层主要为逆断层,少数为正断

* **收稿日期:**2020-09-26 **修订日期:**2020-12-28 **责任编辑:**谭桂丽

基金项目:中国地质调查局"全国地热资源评价与区划方法研究(编号:12120113077300)"子项目"安徽地热资源评价与示范"项目资助。

第一作者简介:秦贞娜,1988年生,女,工程师,主要从事水工环地质调查工作。Email:747955040@qq.com。

通信作者简介:许强平,1989年生,男,工程师,主要从事地球物理勘查与综合研究工作。Email:hpxqp@126.com。

层。香泉地热田位于大龙王山—拦龙山背斜中北段，背斜轴走向 40°～50°，北西翼地层向北西倾斜，倾角 30°～ 40°，局部倾角 50°～60°，南东翼地层向南东倾斜，倾角约 60°，局部倾角约 75°[1]。

根据断裂走向和性质，划分为 3 组断层，分别为 NE 向断层（F_1、F_2）、NW 向断层（F_4、F_5、F_7）和斜向平移断层（F_3、F_6），断层性质及特征见表 1。区域断裂及褶皱为地下水循环提供了良好的通道[1,7]。

表 1　研究区断层特征统计结果

Table 1　Statistical results of fault characteristics in the study area

编号	延长/m	断层产状/°			性质	特征
		走向	倾向	倾角		
F_1	8 000	40	310	75～85	正断层	见硅化破碎带，断层形迹较明显，地表低洼处多被第四系覆盖
F_2	＞6 500	40	310	70～80	逆断层	见硅化破碎带，带内构造角砾岩，地表低洼处多被第四系覆盖
F_3	800	315	225	80	正平移断层	被第四系覆盖
F_4	＞1 400	320	50	80	正断层	被第四系覆盖
F_5	＞1 400	320	50	80	正断层	被第四系覆盖
F_6	＞1 100	310	220	80	正平移断层	被第四系覆盖，地层沿走向不连续
F_7	＞360	310	220	70～75	正平移断层	地表形迹比较清楚，可见断层破碎带

1.3　水文地质特征

根据区内出露的地层岩性及含水介质特征，将该区含水岩组分为第四系松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙水和碳酸盐岩类裂隙岩溶水（图 1）。第四系松散岩类孔隙水，单井涌水量 10～100 m^3/d；碎屑岩类裂隙水，单井涌水量 10～500 m^3/d；碳酸盐岩类裂隙岩溶水，单井涌水量 200～4 000 m^3/d，赋存于溶隙中，溶隙不同空间状态、展布特征决定了裂隙岩溶水的赋存规律，泉水流量一般 10～100 L/s，水化学类型多为重碳酸型水，矿化度约 1 g/L，硬度较高。

1.4　热储物性特征

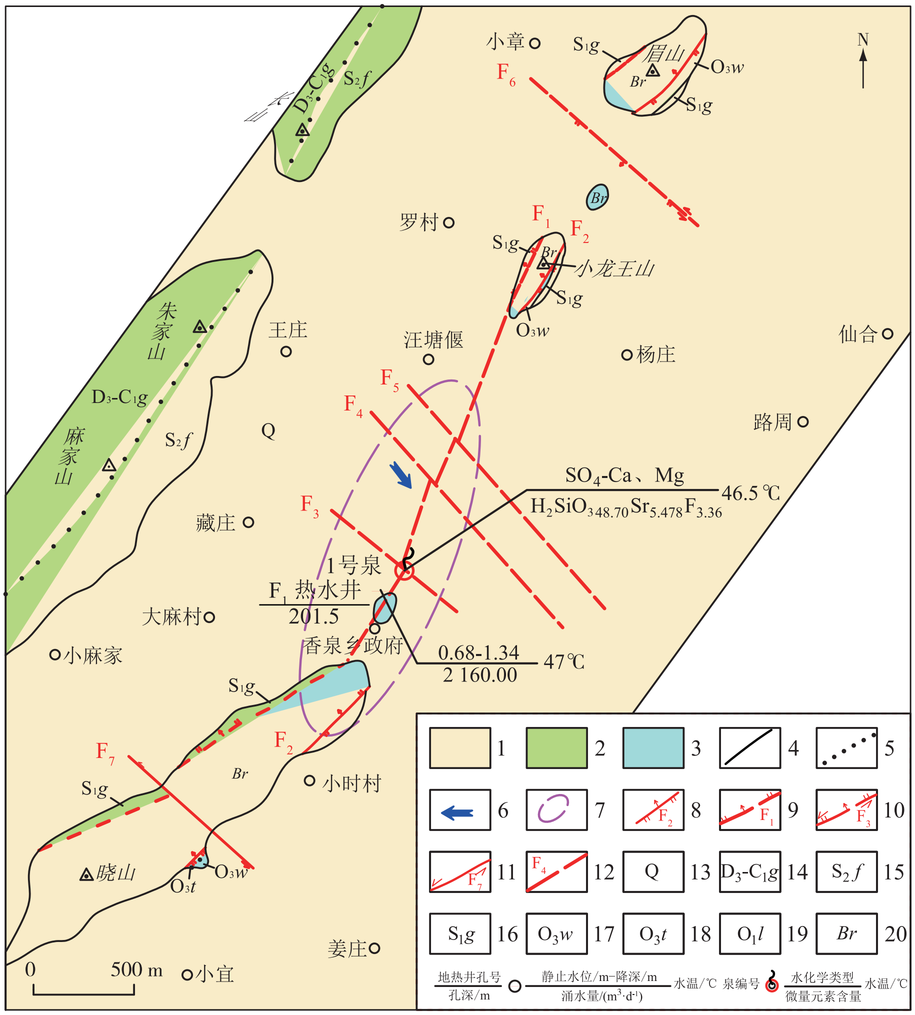
区内热储呈带状，受断裂控制，热泉出露于 NE 向（纵向）与 NW 向（横向）断层的交汇部位，赋水层位为构造角砾岩。根据物性测量结果，硅化角砾岩带具高阻特征，电阻率 ρ 为 2 000 Ω·m，极化率 η 为 3%～5%；围岩电阻率一般为 300～500 Ω·m，极化率 η 为 0.5%～1.0 %。目前工作成果表明，硅化角砾岩带具有高阻高极化特征，可产生 2%～3%的激电异常[1]。

1.5　地球化学特征

常规地球化学勘查中的土壤、岩石及水系沉积物测量方法是伴随汞量测量的开展而使用的，是地球化学方法扩大应用于地热田勘查的结果。多元素地球化学指标的应用，为地热勘查提供了大量地球化学信息，丰富了地热田地球化学资料，如地热田周围各类介质中微量元素丰度、各微量元素在地热田周围空间分布特征、元素之间的相互关系、元素的存在形式以及元素的分带特征等是地热田地球化学研究的重要内容，也为研究水-岩成矿作用提供了丰富的地球化学资料[8]。对地热田具有指示意义的地球化学异常分为土壤化学异常、岩石化学异常、蚀变岩化学异常和水化学异常等[8-13]。通过对香泉镇地区土壤地球化学异常和岩石地球化学异常进行勘查，发现香泉镇地区地热田具有以下地球化学特征。

1.5.1　土壤地球化学异常

对照地壳元素丰度表，发现大多数地热田及其附近地区土壤中的微量元素含量均偏高[8-13]。在原国土资源部合肥矿产资源监督监测中心测试分析该区土壤 As、Pb、Zn 含量[1]，对照我国一些地热田（西藏羊八井、云南热海、福建漳州、广东东山湖、北京小汤山和江苏东海地热田）土壤化学资料[7]，分析香泉地区地热特征（表 2）可知，Pb、Zn 含量与我国一些地热田近于一致；As 含量明显高于我国一些地热田，可能与该区特殊的 Tl、Ba 总矿化高背景值有关。综上可知，香泉地区具备地热田的土壤地球化学背景。



1.松散岩类孔隙水；2.碎屑岩类裂隙水；3.碳酸盐岩裂隙岩溶水；4.水文地质界线；5.地质界线；6.地下水流向；7.热储范围；8.实测逆冲断层；9.推测正断层；10.推测正平移断层；11.实测平移断层；12.推测性质不明断层；13.第四系；14.晚泥盆世观山组；15.早志留世坟头组；16.早志留世高家边组；17.晚奥陶世五峰组；18.晚奥陶世汤头组；19.早奥陶世仑山组；20.角砾岩

图 1　安徽省和县香泉镇水文地质图

Fig. 1　Hydrogeological map of Xiangquan Town, Hexian County, Anhui Province

表 2　香泉地区与我国一些地热田土壤微量元素含量对比结果

Table 2　Contrast of the trace element contents in soils of Xiangquan area and some geothermal fields in China

元素	克拉克值/10^{-6}	我国一些地热田/10^{-6}	香泉地区/10^{-6}	与克拉克值的比值	
				某些地热田	研究区
As	1.5	2.8～105	100～400	1.40～70.0	66.7～266.7
Pb	20	26.5～133	20～50	1.33～6.65	1.0～2.5
Zn	71	41～267	70～100	0.66～3.76	0.99～1.41

香泉地区 As、Pb、Zn 异常高值区往往出现在 F_1 断层两侧，且有较多的高值封闭圈，显示该断裂带是积极的水热活动场所。

1.5.2　*岩石地球化学异常*

香泉地区岩石中的 As、Sb、Bi 含量异常(表 3)。岩石中 As、Sb 含量为其克拉克值的数百倍，Bi 含量

为其克拉克值的 1.2 ～ 2.8 倍。香泉地区岩石中的 As、Sb、Bi 含量与福建漳州、广东东山湖隆起断裂型中低温地热田 As、Sb、Bi 含量相近[8]，推测香泉地区热异常属于隆起断裂型中低温地热异常。

表 3　香泉地区岩石 As、Sb、Bi 含量表[1]

Table 3　As, Sb, Bi content of the rocks in Xiangquan area[1]

元素	克拉克值/10^{-6}	香泉地区/10^{-6}
As	1.5	200～500
Sb	0.2	100～160
Bi	0.127	0.15～0.35

2　地热特征

2.1　香泉地热

香泉镇小泉池（一汤）水温 46.5 ℃，无色透明。水质 pH 值 6.97，总硬度（以 $CaCO_3$ 计算）1 091.27 mg/L，矿化度 1.486 g/L，水化学类型为 SO_4-Ca·Mg 型；F 含量 3.36 mg/L，H_2SiO_3 含量 48.70 mg/L，Sr 含量 5.478 mg/L[1]。大泉池（二汤）位于小泉池 NW 285°方位约 120 m 处，无色透明，水温 45.5 ℃。1985 年调查时，小泉池、大泉池自流量分别为 302.17 m^3/d、442.37 m^3/d[2]。近些年来，由于 F_1 地热井成井抽水，天然露头的泉流量明显减小。

F_1 地热井深 201.5 m，揭露的地层主要为奥陶系灰岩及硅、铁质角砾灰岩，水温 47 ℃，静止水位埋深 0.68 m，抽水降深 1.34 m，涌水量 2 160 m^3/d。研究区 10 余眼民井，含水介质为松散岩类，水温 19.5～22 ℃[1]，与该区多年平均气温比较，水温明显异常。

2.2　热储特征

2.2.1 热储温度

利用原国土资源部合肥矿产资源监督监测中心测试分析的 F_1 地热井及香泉镇小泉池（一汤）水化学成果[1]推算香泉地热田热储温度[14-15]。热水中的 SiO_2 由热水溶解石英形成，这部分热水在其达到取样点（井口）时没有沸腾，公式为

$$t=\frac{1\,309}{5.19-\lg C}-273.15, \tag{1}$$

式中：t 为热储温度，℃；C 为 SiO_2 含量，mg/L。

2 个取样点偏硅酸浓度分别为 48.70 mg/L 和 54.77 mg/L，换算成二氧化硅浓度为 37.46 mg/L 和 42.13 mg/L。通过地球化学温标法计算，推算其热储温度为 88.81～93.99 ℃，取两者平均值作为热储基底温度，即 91.40 ℃，基本反映热储层的基础温度。

2.2.2　热储埋藏深度

香泉镇地热田仅现 F_1 地热井，井口水温 47 ℃。该区年平均气温 15.8 ℃，恒温带平均埋深约 20 m。根据经验公式，恒温带温度 t 为年平均气温加 3 ℃，即 18.8 ℃。长江中下游下扬子坳陷地区地温梯度为 1.59 ～ 3.34 ℃/100 m[16]，香泉地区为地温异常区，地温梯度取 3.34 ℃/100 m。

根据地温梯度推算法[15]，按公式（2）计算热储埋藏深度。

$$H=\frac{T-t}{\Delta t}\times 100+h, \tag{2}$$

式中：H 为热储埋藏深度，m；Δt 为地温梯度，3.34 ℃/100 m；T 为热储温度，91.40 ℃；t 为恒温带温度，18.8 ℃；h 为恒温带深度，20 m。经计算，热储埋藏深度为 2 193.65 m。

地球化学温标是对地下水恢复温度“记忆”的方法，可推演计算地下温度[17]。香泉镇地热田热储温度为 88.81～93.99 ℃，平均值为 91.40 ℃，基本反映热储层的基础温度，由地温梯度推算法计算其热储埋藏深度为 2 193.65 m。总之，一个地区的温度随深度增加而增加，从经济和技术条件考虑，钻进愈深，技术愈复杂，钻井（孔）成本愈高。因此，香泉镇地热田资源为经济型低温地热资源，主要用途为采暖、理疗、洗浴、温室和养殖。

2.3　地热成因

2.3.1　热源

香泉地区上地壳自下而上可划分 3 个构造层，分别为第一构造层（Pt_{2-3}）、第二构造层（Z-T_1）和第三构造层（T_2-N），地幔上拱隆起，莫霍面深度约 33 km[1,7]，大地热流值 44.0 ～ 81.7 mW/m^2[18]，具备来自地壳深部地幔热流传导的大地构造热源地质背景。香泉镇地处郯庐断裂带影响范围内，断裂活动摩擦热在一定范围内使地壳增温，热源主要来自沟通深部热源的现代活动断裂带的热对流。

2.3.2　地热传导通道

滁河断裂发育规模大、切割深，该断裂带具有较高的地热背景值，温泉分布较多，出露庐江暖塘岗、巢

湖半汤、含山县清溪北、和县香泉等多处温泉。滁河断裂具有控热、导热性能，受滁河断裂带控制，区内断裂发育，主要表现为 NE 向、NW 向断裂。

区内 NE 向 F_1 断层和 F_2 断层规模大，切割深，为地下水循环提供了通道，是区内主要的控热、导热断裂。大气降水沿断层破碎带、岩溶发育带，裂隙、节理密集发育带入渗补给地下水，经过水平和垂向运移后，获得地壳深部传导的地温加热形成地热水。

2.3.3 热储

根据前期开展的工作成果，初步确定热储介于 F_1 断裂和 F_2 断裂之间。热储呈 NE 向—SW 向带状展布，热储介质由断层带硅化角砾岩、下奥陶统灰岩和上寒武统白云岩构成。根据 F_1 地热井钻孔揭露，孔深 106.6 m 以上主要为角砾岩，106.6 ～ 201.5 m(孔底)主要为下奥陶统灰岩，201.5 m 之下为上寒武统白云岩[5]。热储为裂隙-岩溶型带状型，地热流体为岩溶热水，受 NE 向断裂控制，且明显受 NW 向导热断裂制约。

2.3.4 盖层

区内志留系—泥盆系页岩、泥岩及粉砂质页岩等富水性极贫乏，具有一定厚度，该层热导率较低，阻止热储层散热，是区内热储的良好盖层。

2.3.5 成因模式

对 F_1 地热井采取同位素样品，测试结果 δD 为 −57.8‰，$\delta^{18}O$ 为 −8.56‰，数据点接近克雷格降水线(图 2)，说明该地区热水主要来自大气降水补给。大气降水在西北、西南部碳酸盐岩裸露区渗入地下，地下水自北东沿控热、导热构造 F_1 和 F_2 向深部循环，加温变热形成地热流体。

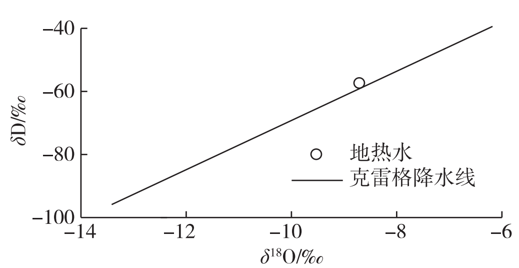
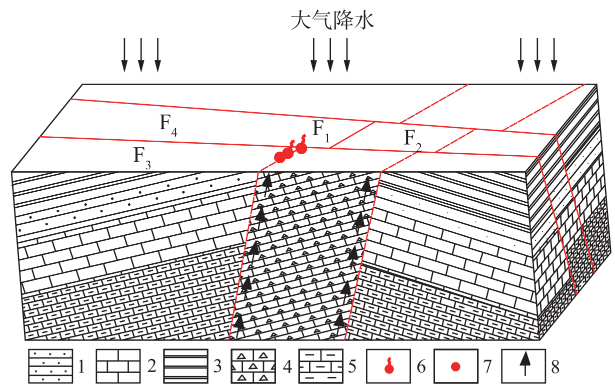


图 2 F_1 井地热水同位素图

Fig. 2 Isotope map of geothermal water in well F_1

热储西北边界为志留系泥质碎屑岩，东南边界为中、上奥陶统泥质碎屑岩夹泥灰岩，位于大龙王山—拦龙山背斜核部，核部由下奥陶统—上寒武统碳酸盐岩构成，两侧翼部岩石以碎屑岩为主，北西翼为志留系—泥盆系页岩、泥质粉砂岩和中细粒砂岩等，南东翼为中、上寒武统—志留系泥质灰岩、泥岩、页岩等。两翼岩石介质相对隔水，为地热流体在中、浅部的积聚提供了阻隔、封盖条件。导水断裂 F_1 沟通向上运移至地表浅部，在 F_1 与 F_3 交汇部位，以上升泉形式排泄至地表，或储存于碳酸盐岩裂隙溶洞含水岩组中断裂构造岩溶发育带部位，形成有开发利用价值的地热资源，理想热储概念模型如图 3 所示。



1.砂岩；2.灰岩；3.页岩；4.角砾状灰岩；5.泥质灰岩；6.温泉；7.热水孔；8.地热流体运移方向

图 3 热储概念模型图

Fig. 3 Conceptual model of the thermal storage

3 地热资源评价

3.1 地热井开采规模

目前，区内人工开采井仅 F_1 地热井，F_1 地热井采矿许可证生产规模为 73 万 m^3/a(2 000 m^3/d)。对区内唯一地热开采井 F_1 井抽水量、水位、水温等进行动态监测(2007 年 2 月 1 日—2007 年 12 月)，发现研究区水温稳定，抽水量、水位变化不大(图 4)。

3.2 地热资源(地热能)评价

香泉镇地热显示有两处，其中小泉池(一汤)自流量为 302.17 m^3/d。大泉池(二汤)自流量为 442.37 m^3/d。二汤的水温、水化学类型与 F_1 地热井基本一致，且根据 F_1 地热井抽水后，天然露头的泉流量明显减小，说明地热井与天然露头二汤处于同一个地热带。根据 F_1 地热井储量认定的允许开采量对区内地热资源(地热能)进行评价。

F_1 地热井储量认定的允许开采量为 2 000 m^3/d (23.15 L/s)，井口水温 47 ℃，当地基准温度取

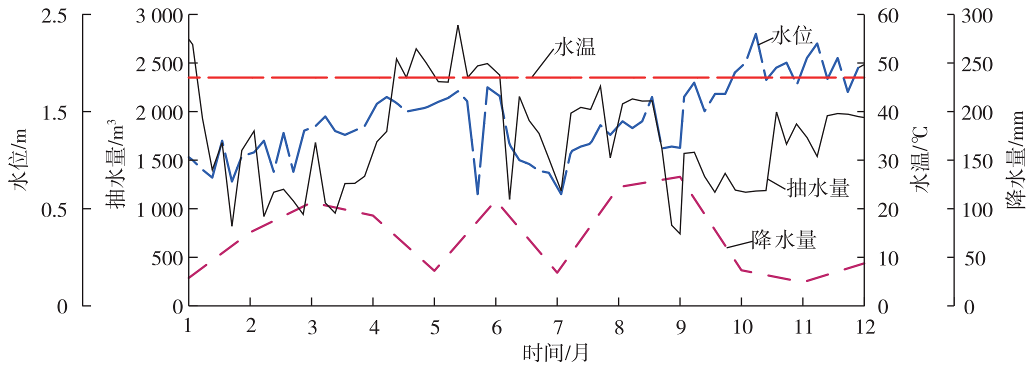


图 4　2007 年 F_1 井动态观测曲线图

Fig. 4　Dynamic observation curves of well F_1 in 2007

18.8 ℃，能量 $Q = q_v c\rho (t_1 - t_0)$，因为中低温热水 $c\rho \approx 1$，所以 $Q = q_v (t_1 - t_0)$ 成立[15]。代入数据 $Q = 23.15 \times (47 - 18.8) = 652.83$(kcal/s)，折算成电能 2.733 MW(<10 MW)，属于小型地热田。一日电量 65 593.20 kWh，相当能量 23.6×10^4 MJ。一年电量 $1\ 639.8 \times 10^4$ kWh(一年按 250 天计)，相当能量 $5\ 903.3 \times 10^4$ MJ。100 年电量 16.40×10^8 kWh，折合煤炭量为 82.00×10^4 t(标准煤)。

3.3　热水水质评价

区内小泉池(一汤)及 F_1 地热井水温均为 47 ℃，属低温地热资源，为温热水。F_1 地热井地热流体主要阴阳离子含量：K^+ 含量 9.29 mg/L，Na^+ 含量 15.05 mg/L，Ca^{2+} 含量 318.86 mg/L，Mg^{2+} 含量 88.68 mg/L，Cl^- 含量 5.92 mg/L，SO_4^{2-} 含量 1 017.68 mg/L，HCO_3^- 含量 198.26 mg/L。水化学类型为 SO_4-Ca·Mg 型，pH 值 7.04～7.25，属中性水。可溶性总固体 1 662.1 mg/L，属弱矿化微咸水。对其进行理疗热矿水评价，F 和 H_2SiO_3 含量达到命名矿水浓度(表 4)，可作为理疗热矿水进行开发利用[14-15]。

表 4　F_1 井实测值与理疗热矿水水质标准对照结果

Table 4　Contrast between measured values of well F_1 and standard of medical hot mineral water

国家标准	二氧化碳/($mg \cdot L^{-1}$)	氟/($mg \cdot L^{-1}$)	锶/($mg \cdot L^{-1}$)	铁/($mg \cdot L^{-1}$)	锂/($mg \cdot L^{-1}$)	钡/($mg \cdot L^{-1}$)	偏硼酸/($mg \cdot L^{-1}$)	偏硅酸/($mg \cdot L^{-1}$)	温度/℃
有医疗价值浓度	250	1	10	10	1	5	1.2	25	≥34
矿水浓度	250	2	10	10	1	5	5	25	
命名矿水浓度	1 000	2	10	10	5	5	50	50	
实测结果	17.6	3.44	2.647	0.038	0.03	0.023	0.014	54.77	47

注：测试单位为原国土资源部合肥矿产资源监督检测中心，样品编号 07S32。

4　地热资源开发利用与保护

4.1　地热资源开发利用

4.1.1　地热资源开发利用现状

安徽和县香泉镇地处皖东地区，与南京市浦口区接壤，具有现代化温泉旅游城镇的接待服务功能。香泉镇地热资源水位埋藏浅、温度适宜、水量较大，水质符合理疗热矿水标准，其开发利用前景广阔。区内早期仅利用天然露头的地热资源供给浴室使用，利用程度较低。2004 年，安徽泰华建设(集团)有限公司施工了 F_1 地热井，利用地热资源建立了集医疗、洗浴、保健为一体的“温泉度假村”。目前，香泉镇地热田开发利用的地热井仅有 F_1 地热井，尚有进一步开发利用的潜力，科学、合理地开发利用地热资源值得规划和研究。

4.1.2　地热资源开发利用条件

根据香泉地区热储开采深度<1 000 m，属经济型地热资源[14-15]，地热流体温度 47 ～ 50 ℃，储量丰富，开发利用潜力大。作为城市地热资源，具有

就地或就近开发利用的优势。合理开发利用香泉镇地热资源，对于缓解能源紧张、减少环境污染、提高生活品质、促进经济可持续发展以及全面建成小康社会具有重要意义。

(1)生活需求类。主要用于人体洗浴、理疗保健和娱乐休闲，成为旅游资源的重要组成部分。利用地热资源进行室内取暖是另一需求，尤其新建社区地热采暖比锅炉采暖具有明显的优越性，可省去煤炭和机械投入，节约大部分人工，消除燃煤对环境的污染。

(2)生态农业需求类。和县香泉镇人多地少，劳动力资源丰富，自然经济以农业为主，水产、养殖业、大棚蔬菜名震大江南北，成为“长江中下游最大的菜篮子”。可利用热水管道为温室大棚加温种植反季节蔬菜及花卉，通过水下管道输送热水，提高和保持水温，用来养殖虾、河蟹等。

香泉地热水水温超过一般鱼类生长适宜温度，且溶解性总固体较高，氟化物超过规定的限量标准[19-20]，可适当与浅层低矿化冷水混合，通过水生植物吸收法或多孔骨料吸收法除氟。利用芦苇、麦秸、稻草作为吸收过滤材料对混合水中的重金属离子、氟等吸收净化，利用炉渣、硬质黏土或沸石等吸附过滤降低氟含量。经降温、除氟处理后地热水直接用于渔业养殖。

(3)地热资源梯级利用。对于香泉镇地热资源的开发还要重视地热资源的梯级利用，有效发挥地热水各温度段作用，提高地热资源的综合利用率[20-21]。经处理后的地热水和热泵技术可建成集供暖、理疗、温室种植、养殖为一体的梯级利用区，如地热水为一路水，采暖水为另一路水。两路水通过中间换热器换热，降温后的地热水送往温泉泳池；升温后的另一路水送至用户采暖。温泉泳池换出的地热废水经过处理，可用于农业灌溉或大棚栽培等。直接利用与间接利用相结合，可充分发挥地热资源的利用价值，对缓解能源紧张、减少环境污染、提高人们生活质量、促进经济可持续发展以及全面建设小康社会具有重要意义。

4.2 地热资源保护建议

(1)开展地热流体动态监测。区内地热资源属于出露型，呈带状分布，地质构造控制地热资源。今后在地热开采过程中对地热井进行开采动态监测，重视地热水的动态研究，系统掌握地热水动态变化规律，及时调整开采计划[9]。监测内容包括地热水温、水位、水质及水量，为分析评价地热开发潜力积累基础资料，为合理开采利用地热资源提供技术依据。建议在布置区域性地热监测方案的基础上，对每一眼地热开采井进行专门监测，定期编制地热监测技术报告。

(2)严防粗放、过量开发利用地热资源。区内地热资源为侧向远处和深层补给，其再生性差。虽然地热资源较丰富，但受补给能力影响微弱，资源总量有限。在开采过程中要严防粗放式过量开采，若开采利用资源不合理，在开采影响区内严重时会出现地面沉降等地质环境问题，甚至导致地热资源过早枯竭，直接影响地热井的开采寿命。

(3)加强废水排放管理。在地热资源开发利用过程中，尾水排放措施不利，其温度及矿化度高、水质复杂，易造成当地地表水、地下水的污染及周边环境的热污染。因此，在开发利用地热资源时，应建立区内地质环境监点并且加强废水的排放管理，以保护周围的环境[20-24]。

(4)加强地热开发利用管理。应根据区内地热资源特点及适宜性合理规划、科学管理、节约资源，充分发挥该区地热资源潜力[24]。健全完善地热资源开发管理机构，强化地热开发利用管理，采取行政、经济、技术、法律等措施综合管理，避免出现滥采滥用及粗放性、掠夺性开采地热的现象，做到综合开发、梯级利用。在保护中开发，在开发中保护，严禁超采，使有限的地热资源获取最大的社会经济效益。

5 结论

(1)香泉镇地热田的地热显示确切，属于裂隙-岩溶型带状热储，赋存中低温岩溶热水，水化学类型为 SO_4-Ca·Mg 型，属氟、偏硅酸理疗热矿水。

(2)通过地球化学温标法计算，推算香泉镇地热田热储温度为 88.81～93.99 ℃，热储埋藏深度为 2 193.65 m，为经济型低温地热资源，可广泛用于人体理疗洗浴、温池游泳、温室种植、热水养殖、供热取暖等，带动生态农业、旅游休闲、房地产等相关产业发展，开发利用前景广阔。

(3)香泉镇地热资源利用率低，尚有较大的开发潜力。建议加强区内地热资源勘查研究工作，充分利用地热资源，重视地热资源的梯级开发利用，

对地热田实施有效保护。

参考文献

[1] 安徽省地质矿产勘查局 327 地质队.安徽省和县香泉镇 F_1 井地热资源勘查评价报告[R].合肥：安徽省地质矿产勘查局 327 地质队，2008.

[2] 安徽工程勘察院.安徽和县香泉地区泉水出露及民井调查报告[R].合肥：安徽工程勘察院，1985.

[3] 安徽泰华(集团)建设有限公司.安徽泰华和县香泉度假村地热资源开发利用预可行性研究[R].合肥：安徽泰华(集团)建设有限公司，2009.

[4] 安徽省地质矿产勘查局 327 地质队.2014 年安徽省和县香泉地热资源开发利用动态监测年报[R].合肥：安徽省地质矿产勘查局 327 地质队，2015.

[5] 吴海权，杨则东，疏浅，等.安徽省地热资源分布特征及开发利用建议[J].地质学刊，2016，40(1)：171-177.

[6] 刘林，姜月华，梅世嘉，等.赣南于都黄麟地区地热勘察取得突破性进展[J].华东地质，2020，41(2)：183.

[7] 安徽省地质矿产局.安徽省区域地质志[M].北京：地质出版社，1987.

[8] 朱炳球，朱立新，史长义，等.地热田地球化学勘查[M].北京：地质出版社，1992.

[9] 朱炳球，朱立新，史长义，等.热田地球化学测量方法及其远景评价[J].物探与化探，1987(1)：38-47.

[10] 地质矿产部物化探研究所.地球化学探矿实例 第 3 辑[M].北京：地质出版社，1987.

[11] 张鹏，端木合顺，端木辉，等.陕西省眉县汤峪地热田地质特征与成因分析[J].地质调查与研究，2014，37(1)：27-33.

[12] 王奎峰，李文平，韩代成，等.山东省临清地热田地热水化学特征及热水起源研究[J].地质调查与研究，2014，37(3)：230-236.

[13] 王卫星，赵娜，张亚娜，等.土壤元素地球化学异常对天津地区地热田异常的指示[J].地质与勘探，2015，51(5)：932-938.

[14] 中华人民共和国国土资源部.GB/T11615—2010 地热资源地质勘查规范[S].北京：地质出版社，2010.

[15] 中华人民共和国地质矿产部.DZ40—1985 地热资源评价方法[S].北京：地质出版社，1985.

[16] 王良书，李成，施央申，等.下扬子区地温场和大地热流密度分布[J].地球物理学报，1995(4)：469-476.

[17] 邓鼎兴.福州地区地热资源成生规律及潜在地热异常远景区分析[J].华东地质，2017，38(2)：132-137.

[18] 王一波，胡圣标，聂栋刚，等.郯庐断裂带是热异常带吗：来自断裂带南段热流的约束[J].地球物理学报，2019，62(8)：3078-3094.

[19] 中华人民共和国环境保护局.GB 11607—1989 渔业水质标准[S].北京：地质出版社，1989.

[20] 蔡义汉.地热直接利用[M].天津：天津大学出版社，2004.

[21] 郑克棪.地热资源的和谐开发与保护[A]//中国能源研究会地热专业委员会.中国地热资源开发与保护——全国地热资源开发利用与保护考察研讨会论文集. 2007.

[22] 陶庆法，胡杰.我国地热资源的勘查开发与管理[A]//中国能源研究会地热专业委员会.中国地热资源开发与保护——全国地热资源开发利用与保护考察研讨会论文集.2007.

[23] 刘杰，宋美钰，田光辉.天津地热资源开发利用现状及可持续开发利用建议[J].地质调查与研究，2012，35(1)：67-73.

[24] 刘时彬.地热资源及其开发利用和保护[M].北京：化学工业出版社，2005.

Geological characteristics of geothermal resources in Xiangquan Town, Hexian County, Anhui Province and its exploitation, utilization and protection

QIN Zhenna[1], XU Qiangping[1], ZHANG Xiao[2]

(1. *NO.327 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, Hefei* 230011, *Anhui, China*;
2. *Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province, Hefei* 230031, *Anhui, China*)

Abstract: Xiangquan Town of Hexian County, Anhui Province is named for the fragrance of the spring water in its territory. The temperature of the spring water is 47～50 ℃, and the water is rich in minerals and trace elements such as sulfur and calcium. According to the geothermal geological survey, geophysical exploration, geochemical survey, water pumping test and geotechnical water sample analysis and testing carried out in this area, and on the basis of describing the geothermal geological background of Xiangquan in Hexian County, the heat storage, the amount of geothermal resources and the characteristics of hot water of the geothermal field in this area are evaluated. The results show that the Xiangquan Town geothermal field belongs to the fissure karst zonal heat reservoir, with the occurrence of middle and low temperature karst hot water. The hydrochemical type is SO_4-Ca·Mg and belongs to the fluorine and metasilicic acid therapy hot mineral water. According to the distribution characteristics of geothermal resources, characteristics of geothermal fluids and the development and utilization status of Xiangquan Town, a development and utilization scheme of heating, physiotherapy, greenhouse planting and aquaculture was put forward, and some protection suggestions were put forward to carry out dynamic monitoring of geothermal fluids, strengthen waste water discharge, development and utilization management in the study area.

Key words: geothermal field; geothermal resources; geothermal reservoir; development and utilization; Xiangquan Town