

地质与矿产

日照市刘东楼地区地热资源开发利用可行性分析

袁杰¹, 杨鹏¹, 魏同政¹, 王新玲², 康日斐¹

(1.山东省第八地质矿产勘查院, 山东日照 276826; 2.蒙阴县自然资源和规划局, 山东蒙阴 276200)

摘要: 地热资源为绿色清洁能源, 具有节能环保、可持续利用的特征, 其开发利用可加快地方旅游经济的发展。刘东楼地区位于日照-青岛断裂以东, 构造较发育, 成热地质条件良好。本文通过浅层地温测量、物探、测温孔等手段, 查明了该地区热储特征及埋藏条件, 并建立了热储概念模型; 根据模型分析, 地下水受深部热源加热、温度升高, 遇构造交会形成凝滞, 与围岩发生溶滤, 形成了具有较高温度和矿物质的地热流体, 最终沿断裂破碎带传输至地表, 形成了地热异常区; 浅层地温测量显示区域恒温带埋深 25~35 m, 恒温层温度 16.2℃, 测温孔地温梯度为 2.12℃/100m, 同时分析了研究区地热流体化学组分特征, 通过地热流体质量评价显示, 研究区地热水主要的开发利用方向为理疗洗浴、采暖等。最后对该地区的开发利用可行性进行了分析, 以期同类花岗岩地区寻找地热资源提供借鉴。

关键词: 地热资源; 开发利用; 可行性分析; 地温场特征; 刘东楼地区

中图分类号: P618.51; P597.2

文献标识码: A

doi: 10.12128/j.issn.1672-6979.2021.08.003

引文格式: 袁杰, 杨鹏, 魏同政, 等. 日照市刘东楼地区地热资源开发利用可行性分析[J]. 山东国土资源, 2021, 37(8): 21-27. YUAN Jie, YANG Peng, WEI Tongzheng, et al. Feasibility Analysis on Development and Utilization of Geothermal Resources in Liudonglou Area of Rizhao City[J]. Shandong Land and Resources, 2021, 37(8): 21-27.

0 引言

地热资源是一种绿色的清洁能源, 具有节能环保、可再生等优势, 现已广泛用于医疗保健、洗浴、供暖、养殖等领域^[1-9]。地热资源的勘探与开发不仅可以加快地方经济的发展, 还能丰富旅游产业, 改善能源结构^[10-15]。研究区位于日照市东港区秦楼街道刘东楼村东, 属于山海天旅游度假区, 研究该地区地热资源开发利用可行性, 对山海天地区的旅游业有很大的助益。本文通过对该地区地热地质条件及开发利用进行探讨, 为同类花岗岩地区寻找地热资源提供指导^①。

1 地质背景

研究区位于苏鲁造山带、胶南-荣成隆起区、胶南断隆区、胶南凸起东部^[16]。出露地层主要有第四

纪山前组、临沂组、潍北组及旭口组, 区内岩浆活动较频繁, 尤其以晚元古代最为强烈, 因而有大面积的侵入岩分布, 以酸性岩为主。

刘东楼地区位于日照-青岛断裂以东, 受其影响, 构造较发育, 多为 NE 向, 次为 NW 向。通过物探解译, 该地区发现两条具有较大发育深度和规模的低阻带, 推测是两条断裂的低阻特征反应(图 1)。其中 F₁ 断裂走向为 NE 向, 倾向为 SE, 倾角为 75°~80°左右, 构造特征为压扭性; F₂ 走向为 NW 向, 向 NE 陡倾, 切割深度较大, 影响范围广, 构造特征为张性, 富水性及导水性较好, 呈明显低阻特征。

2 地热地质特征

2.1 热储特征及埋藏条件

2.1.1 热储形态及埋藏条件

研究区属“断控型”带状热储区, 热储为走向

收稿日期: 2021-03-05; 修订日期: 2021-04-20; 编辑: 曹丽丽

基金项目: 日照市地质勘查项目, 日照市东部地热调查, 项目编号: 日勘字[2016]01 号

作者简介: 袁杰(1984—), 女, 山东聊城人, 高级工程师, 主要从事水工环地质研究工作; E-mail: 358713185@qq.com

①山东省第八地质矿产勘查院, 日照山海天旅游度假区刘东楼地区地热资源调查报告, 2016 年。

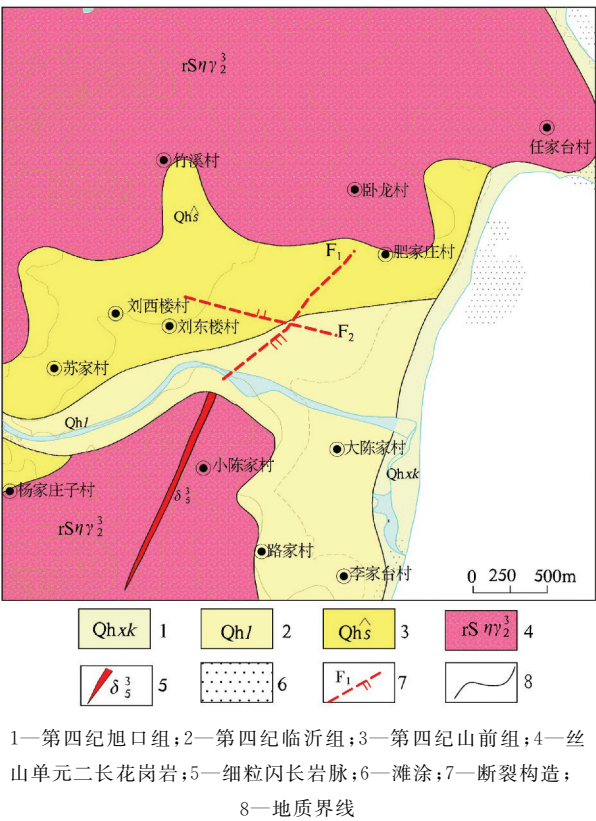


图 1 研究区地质图

NE 向(F_1)和 NW 向(F_2)共同组成的构造破碎带。

断裂构造由于应力作用,使原岩的连续性遭受破坏,岩石破碎裂隙发育,多被水或泥质物质充填,从而引起了电阻率的降低,破坏了电磁场的连续稳定性,使电位场发生畸变,通常反映为明显的低阻异常,但随着断裂中含水量的不同,电阻率的反映将有明显的差异,电阻率越低往往表示断裂带富水性越好^[17-21]。由于研究区第四系厚度较大, F_1 、 F_2 断裂未见明显露头:

F_1 构造走向为 NE 向,倾向为 SE,倾角为 $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 左右,构造特征为压扭性,根据物探解译的低阻带情况, F_1 构造带发育宽度在 180 m 左右,阻值在 $500\sim 1\,100\,\Omega\cdot\text{m}$ 之间,低阻带发育深度约 1 800 m。

F_2 走向为 NW 向,向 NE 陡倾,倾角约 80° ,切割深度较大,影响范围广,构造特征为张性,富水性及导水性较好,根据物探解译的低阻带情况,构造带发育宽度约 150 m,整体电阻值较 F_1 偏低,在 $300\sim 1\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ 之间,低阻带发育深度约 1 500 m。

F_1 断裂构造特征为压扭性,为主要的控热断裂, F_2 断裂构造特征为张性,富水性及导水性较好,

这两者交会部位形成热储,电阻率低值反应明显,使区内电阻率呈较大的差异性。

2.1.2 热储概念模型

根据研究区地热地质条件,明确热源、水源、盖层、通道、热储层各个相关因子,从而建立热储概念模型^[22]。研究区热储概念模型见图 2。

(1) 热源

根据测温孔 ZK01 水质分析报告,地下水 ^{226}Ra 含量为 0.036 6 Bq/L,总 α 含量为 0.082 1 Bq/L,总 β 含量为 0.224 Bq/L;地下水具有微弱的放射性,说明地下水是在具有一定放射性的环境下形成的。其形成是地下水在深部循环过程中,随着深度增加、温度升高,溶解围岩物质成分,使围岩产生热水蚀变,放射性物质不断在地热流体中聚集的结果。

地球内部热流主要通过传导、对流、热岩浆上移携带(岩浆侵入或火山喷发)3 种形式向外传递,其中对流是地热流体向地表传递最有效的形式^[23]。研究区主要发育 F_1 和 F_2 断裂,低阻带发育深度 1 600 m 左右,宽度较大,断裂发育使完整基岩形成了自下而上的破碎带,为深部热流向地表传导提供对流通路,地下水在此富集,并受深部热流的“烘烤”加热,从而形成地热资源。

(2) 水源

水源由两部分组成,一是大气降水,在西部、北部入渗补给地下水;另外由于 F_2 构造沟通了大海,海水也是地下水的重要补给来源,本次测温孔打穿的含水层水源主要为海水补给。

(3) 盖层

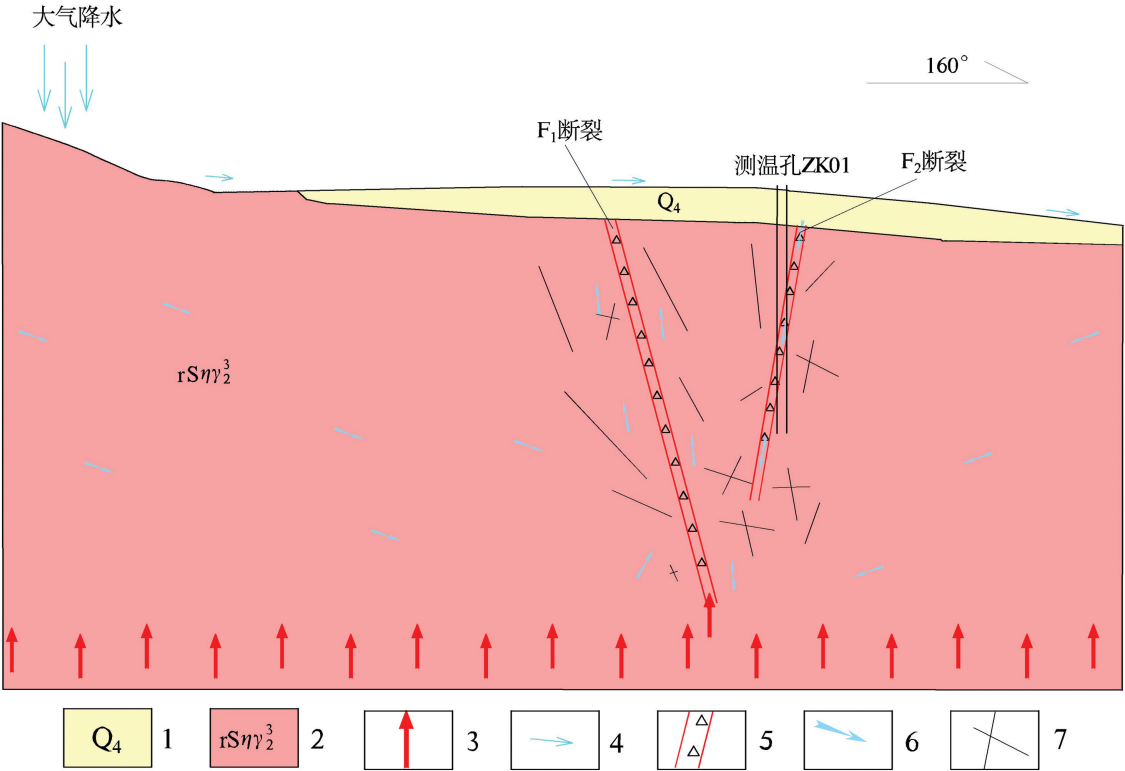
研究区盖层主要为晚元古代二长花岗岩体,断裂破碎带上盘岩石相对完整,保温性较好,浅部地下凉水无法与深部地热流体发生水量交换,此外花岗岩体上部的第四系淤泥质粘土也具有一定盖层功能。

(4) 通道

研究区内导水通道主要为物探解译的 F_2 断裂,具有良好的导水性能,是西北丘陵区深部地下水和东部黄海海水补给地下水的主要流通通道。 F_1 断裂主要为成热构造,构造特征为压扭性,发育深度较大,可与大地深部热流产生热交换,具有较好的导热功能。

(5) 热储层

区内热储层位于 F_1 断裂和 F_2 断裂交会部位,



1—第四纪松散沉积物;2—丝山单元二长花岗岩;3—大地深部热流;4—地表水流向;5—构造破碎带;6—地下水流向;7—节理裂隙

图 2 研究区热储概念模型

是受两者共同影响的构造破碎带。地下水经 F_2 断裂径流后受 F_1 断裂和岩脉阻挡,形成局部富水段,地下水凝滞深循环后与围岩溶滤、交代,并受大地深部热流加热形成富含矿物质、具有较高温度的地热流体。

综上,研究区属“断控型”带状热储,地下水接受入渗补给后,沿着导水构造汇集,在深部加热并与围岩发生溶滤作用,形成富含矿物质的地热水,最终沿断裂破碎带传输至地表,形成了地热异常区。

2.2 地热流体流场特征

研究区地势整体西北高,东南低,大气降水入渗补给地下水后沿地形坡度降自西北向东南径流,由于 F_2 为张性断裂,地下水在 F_2 断裂形成的破碎带内形成强径流带;而 F_1 断裂为压扭性,具有阻水作用,西北地区的地下水流至 F_1 断裂后凝滞形成富水区,并在地下深部热源和岩浆余热的作用下形成地热流体,以对流的形式沿 F_1 断裂下盘自地下深部向浅部运移,形成地热流体富集区。

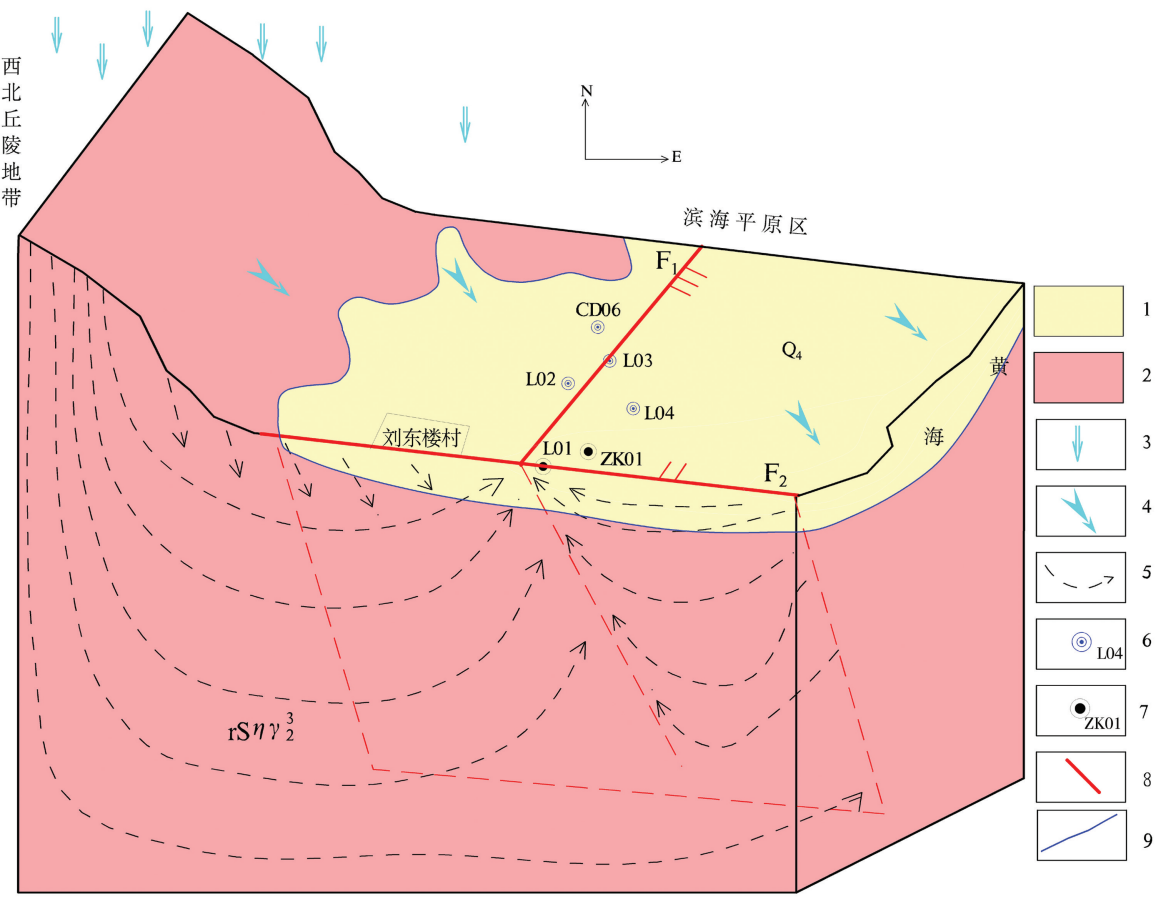
此外由于 F_2 断裂延伸方向距离黄海很近,仅 2 km 左右,海水沿 F_2 断裂形成的破碎通道内可自东

南向西北向内陆径流,形成高矿化度咸水,咸水在 F_1 断裂附近受阻碍后亦受到深部热源和断裂活动余热的作用下加热,并以对流方式沿着 F_1 断裂上盘向浅部运移。区内地热流体即为这两者混合形成。

根据地面调查,L01 和测温孔 ZK01 由于靠近导水通道 F_2 ,水质较差,味咸,为海水影响造成;而 L04 离 F_2 断裂较远,则水质较好,L02,L03,CD06 由于远离 F_2 构造且位于 F_1 断裂下盘附近,则水质较好,除废弃的机井外地下水井均用于饮用水,刘东楼村中现存的机井地下水也均不咸,这也说明研究区内的地热流体以 F_1 构造带为界,西部流场特征为地下水自西北向东南径流,东部流场特征为海水沿 F_2 构造向西北径流(图 3)。但从大的区域上来说,地下水自西北向东南排泄入大海。

2.3 地温场特征

通过对研究区范围内 7 口机民井及测温孔的测温数据分析,大部分测温曲线在 25 m 以上处于由高渐低或由低渐高的变化趋势;而在 25~35 m 之间,水温处于一个相对恒定的温度范围 16.1~16.3℃之间;到 35 m 以下,温度逐渐稳定上升。因



1—第四纪松散沉积物;2—丝山单元二长花岗岩;3—大气降水;4—地表水流向;5—流线;6—淡水井及编号;7—咸水井及编号;
8—断裂构造;9—地质界线

图 3 研究区地热流体流场形态示意图

此,研究区内的变温带位于 25 m 以上;恒温带为 25~35m 之间,恒温带温度取平均值 16.2℃;35 m 以下进入增温带。

研究区的地温趋势是按 NE 向构造展布的,这与物探解译的 F₁ 断裂构造走向基本一致,这说明 F₁ 断裂为导热断裂,对研究区内地热资源温度起控制作用(图 4)。

测温孔 ZK01 孔地温增温率比较平缓,一般地温增温值为 0.1℃/5m,部分孔深处尚不能达到 0.1℃/5m,但在 105~110 m 之间,地温值由 16.8℃陡增至 17.4℃,上升了 0.6℃,达到了 0.6℃/5m,该段也是测温孔的主要出水段,为断裂破碎带发育部位,这说明构造破碎带对地温场的高低有着决定意义。按公式 $\Delta t/\Delta h = (T''t)/(H''h)$ 计算,测温孔 ZK01 地温梯度值为 2.12℃/100m,为研究区内测得的地温梯度值最高值。

2.4 地热流体质量评价

2.4.1 地热流体化学组分特征

测温孔内地下水水温 22.9℃,属温水;总硬度 8 054.95mg/L,溶解性总固体 7 973.72 mg/L,属咸水,pH 为 7.68,属中性水;阳离子主要为 Na⁺ 和 Ca²⁺,阴离子以 Cl⁻ 为主,并含有对人体有益的 F⁻, H₂SiO₃, HBO₂, Sr 等组分(表 1)。

靠近导水通道 F₂ 的测温孔 ZK01 地下水矿化度高达 8 g/L,味咸,化学类型为 Cl-Na 型,该类型的水多是海相沉积或与海相沉积有关的水,也就是说研究区地下水可能是海水补给与大气降水溶滤混合补给的结果^[24-26]。

为了验证上述说法,将其与海水化学成分相比较,发现其中部分离子比值较为接近(表 1),说明测温孔地下水可能存在海水补给。Sr(11.38 mg/L)的富集,说明地下水接受了远程补给,与围岩发生了溶滤、交代作用。

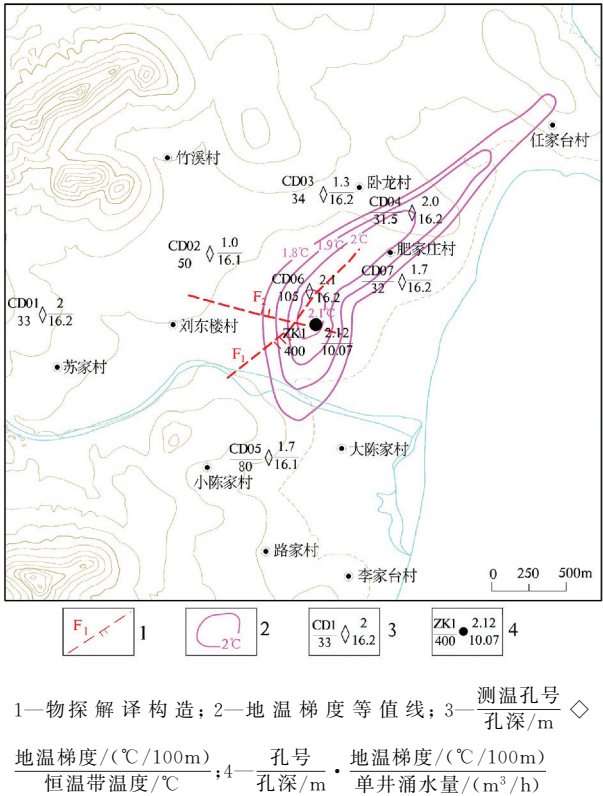


图 4 研究区周边地温梯度等值线分布图

表 1 海水与测温孔地下水成因系数

名称	成因系数			
	Cl/Br	Ca/Sr	Br/I	γNa/γCl
海水	297	53	1300	0.85
测温孔	1777	38.35	1150	0.87

注:表中 Cl/Br,Ca/Sr 为质量浓度,γNa/γCl 为平均毫克当量浓度比。

2.4.2 地热流体质量评价

研究区地热水中含有丰富的微量元素及特殊化学组分。根据《地热资源地质调查规范》(GB11615—2010)中《理疗热矿水水质标准》^[27],本区地下水中氟(3.45 mg/L)和锶(11.38 mg/L)的含量达到了命名矿水浓度标准,可命名为氟水、锶水;偏硅酸(27.14 mg/L)和偏硼酸(1.78 mg/L)含量达到了有医疗价值的浓度标准,这些元素在限值内均为对人体健康有益的元素,故本区地下水为具有医疗保健价值的地下水,可作为理疗热矿水利用(表 2)。

该地热水不宜作为生活饮用水、农业灌溉用水和渔业用水,工业利用可提取的有用元素均未达到国家标准,为腐蚀性、不结垢的地热水,主要的开发利用方向为理疗洗浴、采暖等。

表 2 按理疗热矿水水质评价表 单位:mg/L

成分	有医疗价值浓度	矿水浓度	命名矿水浓度	测温孔含量	评价
二氧化碳	250	250	1000	4.23	—
总硫化氢	1	1	2	—	—
氟	1	2	2	3.45	氟水
碘	1	1	5	<0.05	—
溴	5	5	25	2.3	—
锶	10	10	10	11.38	锶水
锂	1	1	5	0.09	—
铁	10	10	10	<0.04	—
钡	5	5	5	0.14	—
偏硼酸	1.2	5	50	1.78	有医疗价值
偏硅酸	25	25	50	27.14	有医疗价值
氡/(Bq/L)	37	47.14	129.5	—	—
温度/℃	≥34	—	—	22.9	温水
矿化度	<1000	—	—	8054.5	—

3 开发利用可行性分析

刘东楼地区地热资源分布呈带状,面积较小,热储及顶板岩性以花岗岩为主,为断控型热储,热储埋深较大,按温标计算热储温度为 45.18℃,为温热水储层。根据物探资料,反映热储层的低阻带埋深达到 1 600 m 左右。根据规范,考虑当前地热资源开采技术及经济合理性,成井深度在 1 000~3 000 m 之间,属经济的,故本研究区若施工 1 600 m 的地热井,成井深度是经济的。

本次测温孔孔底水温 22.9℃,地温梯度值为 2.12℃/100m,如按施工地热井按成井深度 1 600 m 推算,井底温度为 46.52℃,根据规范对热储层温度划分,40℃≤t<60℃属低温地热资源的温热水,考虑到对水质的评价和允许开采量,适合作为理疗用水使用。

按测温孔中地下水对地热流体单位产量计算,地热流体的单位产量为 10.60 m³/d·m,按规范 50~5m³/d·m 属较适宜开采区。由于是按测温孔计算,允许开采量和热储厚度均偏小,若施工地热井,地热流体的单位产量应大于 10.60 m³/d·m。

根据测温孔水样分析报告,研究区地下水中锶和氟含量较高,可命名为氟水、锶水;偏硅酸和偏硼酸含量达到了有医疗价值的浓度,溶解性总固体含量为 7 973.72 mg/L,考虑到水质具有腐蚀性,按规范对其利用方向、方式评价见表 3,研究区内地下水可以直接利用作为理疗洗浴用水,其他使用方向可间接利用。

4 结论

研究区地热类型属构造控制型,热储为由 F₁, F₂ 两条断裂共同影响的构造破碎带,热储岩性为角闪二长花岗岩,其中 F₁ 断裂走向 NE,为压扭性,是

主要控热、阻水构造;F₂ 断裂走向 NW,为张性,是主要的导水构造和水源通道。研究区地热资源的水源为海水和大气降水,热源为深部大地热流,盖层为完整的角闪二长花岗岩和第四系。

表 3 不同质地热流体的利用方向、方式与排放要求

溶解性总固体含量/(mg/L)	利用方向		利用方式		排放要求
	达到生活饮用水或饮用矿泉水标准	达到理疗矿水水质标准	理疗洗浴	其他	
<1000	饮用及生产矿泉水专用矿泉水	理疗洗浴、采暖、农业等 理疗洗浴、采暖等	直接利用	直接利用	医用处理后排放,其他回灌
1000~3000			直接利用	间接利用	
3000~10000		理疗洗浴、采暖等	直接利用	间接利用	直接利用处理后排放,间接利用回灌
>10000			直接利用	间接利用	

注:本表参考北京、福州等地的地热开发利用现状统计资料确定。

研究区热储研究区恒温带埋深 25~35 m,恒温层温度 16.2℃,测温孔地温梯度为2.12℃/100m。

研究区地下水属于氟型、锍型低温温水型矿水,具有医疗价值,地热资源开发方式适宜直接利用理疗洗浴用水,可与山海天旅游资源开发密切结合,可以产生一定的经济和社会效益,合理开发对环境影响较小。

参考文献:

[1] 康凤新.山东省地热清洁能源综合评价[M].北京:科学出版社,2018:3-7.

[2] 李肖兰,杜绍伟,张玲,等.山东省地热资源分布与开发利用研究[J],山东国土资源,2021,37(1):37-43.

[3] 单吉成,李丽,贾丽丽.沂源县南麻悦庄盆地地热资源成因及开发利用前景分析[J],山东国土资源,2020,36(12):40-45.

[4] 徐军祥,康凤新.山东省地热资源[J].中国地质,1999(9):1-10.

[5] 刘春华,王威,卫政润.山东省水热型地热资源及其开发利用前景[J].中国地质调查,2018,5(2):51-56.

[6] 廖忠礼,张予杰,陈文彬,等.地热资源的特点与可持续开发利用[J].中国矿业,2006,15(10):8-11.

[7] 高宗军,孙智杰,杨永红,等.山东省地热水水化学研究及赋存特征[J].科学技术与工程,2019(20):85-90.

[8] 牟林凯.山东省地热水赋存特征及其形成模式研究[D].青岛:山东科技大学,2017:1-20.

[9] 金秉福,张云吉,栾光忠.胶东半岛地热资源的特征[J].烟台师范学院学报:自然科学版,1999(4):297-301.

[10] 王宏雷,祝丽媛.临沂市温泉(井)成热机制分析及找热方向研究[J].山东国土资源,2018,34(10):99-105.

[11] 罗文强,张尚坤,于学峰,等.沂沭断裂带研究进展综述[J].山

东国土资源,2018,34(5):59-65.

[12] 杨本固,朱伟.沂沭断裂带五莲至莒县段地热异常区热储模型分析与研究[J].地质学报,2019,93:192-196.

[13] 冯守涛,徐勇,杨询昌.山东省深部岩溶热储地热地质特征[J].山东国土资源,2013,29(9):16-22.

[14] 赵辉,殷涛,史猛,等.胶东地热田地热流体的补径排特征:以招远东汤地热田为例[J].山东国土资源,2019,35(1):62-69.

[15] 杨崇敬,日照市沿海地区地热资源特征研究[J].2020,36(1):38-43.

[16] 余鸣潇,周训,刘海生,等.云南省云县大控蚌温泉的特征及成因[J].南水北调与水利科技,2019,17(5):139-147.

[17] 尹秀贞.沂源城区地热地质条件与地热资源开发前景评价[J].化工矿产地质,2017,39(3):168-173.

[18] 王峰,牛全丽.东营市地热资源综合开发利用分析[J].山东国土资源,2012,28(5):25-28.

[19] 肖琼,沈立成,杨雷.地下热水的来源与补给机制分析:以重庆北温泉为例[J].重庆大学学报,2015,38(4):91-103.

[20] 田东升.郑州市深部热储层地热水补给来源分[J].河南地球科学通报,2010(78):34-36.

[21] 郝玥,余新晓,邓文平,等.北京西山大气降水中 D 和¹⁸O 组成变化及水汽来源[J].自然资源学报,2016,31(7):1211-1221.

[22] 韩昱,刘玉仙,申丹丹,等.山东费县上冶地区地热资源特征研究[J].山东国土资源,2018,34(11):45-51.

[23] 白平,杨崇敬.日照市管帅地区地热资源特征分析[J].山东国土资源,2014,30(6):37-41.

[24] 冯士桢,李凤岐,李少菁.海洋科学导论[M].北京:高等教育出版社,2010:112-113.

[25] 张涛.胶东温泉地热水水化学及同位素特征研究[J].山东国土资源,2011,27(12):11-16.

[26] 王昕昀.山东半岛西部温泉水化学特征及成因研究[D],北京:中国地质大学,2018:49-50.

[27] GB/T 11615-2010.地热资源地质勘查规范[S].

Feasibility Analysis on Development and Utilization of Geothermal Resources in Liudonglou Area of Rizhao City

YUAN Jie¹, YANG Peng¹, WEI Tongzheng¹, WANG Xinling², KANG Rifei¹

(1.No.8 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Rizhao 276826, China; 2. Mengyin Bureau of Natural Resources and Planning, Shandong Mengyin 276200, China)

Abstract: Geothermal resources are green and clean energy, with the characteristics of energy saving, environmental protection and sustainable utilization. Its development and utilization can accelerate the development of local tourism economy. Liudonglou area is located to the east of Rizhao Qingdao fault. Affected by it, the structure is well developed and the geological conditions of thermogenesis are good. In this paper, by means of shallow geothermal measurement, geophysical exploration and temperature measurement hole, the characteristics and burial conditions of heat reservoir in this area are found out, and the conceptual model of heat reservoir is established. According to the model analysis, the groundwater is heated by deep heat source, the temperature rises, and forms stagnation when encountering structural intersection area, and dissolves with surrounding rock, forming geothermal fluid with higher temperature and minerals. Finally, it is transported to the surface along the fracture zone. The results show that the buried depth of the constant temperature zone is 25~35m, the temperature of the constant temperature zone is 16.2 °C, and the geothermal gradient of the temperature measuring hole is 2.12 °C/100m. At the same time, chemical composition characteristics of geothermal fluid in the study area are analyzed. According to quality evaluation of geothermal fluid, main development and utilization directions of geothermal water in the study area are physical therapy, bathing, heating, etc. Finally, the feasibility of the development and utilization of this area is analyzed. It will provide some references for searching geothermal resources in similar granite areas.

Key words: Geothermal resources; development and utilization; feasibility analysis; geothermal field characteristics; Liudonglou area