

基于多参数融合的日照五莲县地热资源分析及其应用规划研究

李星传

山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照
Email: jiangshanchao88624@126.com

收稿日期: 2021年1月29日; 录用日期: 2021年3月17日; 发布日期: 2021年3月24日

摘要

为查明五莲县地热资源, 本文在调研水文地质的基础上通过EH-4电磁、浅层测温、测温钻孔等多参数融合对其地热资源进行分析并针对其地热异常区域的可持续应用提出合理化建议。数据分析显示: 本次调查区作圈划出四个地热异常区: 管帅-北店地热异常区、大古沟地热异常区、钱家庄地热异常区和王家大村地热异常区。其中, 管帅-北店地热异常区: 面积约4.79 km², 区内平均地温梯度4.29°C/100m, 最高处为7.00°C/100m; 大古沟地热异常区: 面积约0.3 km², 地温梯度3.3°C/100m; 钱家庄地热异常区: 面积约1.68 km², 地温梯度5.38°C/100m; 王家大村地热异常区: 面积约0.92 km², 地温梯度2.47°C/100m。其中钱家庄子、王家大村地热异常区位置优越、开发潜力大, 经济利用价值高。通过本文的研究为五莲县地热资源合理利用提供了数字化的指导意见, 具有重要的应用价值。

关键词

五莲县, 地热资源, 多参数分析, 地热异常区

Analysis and Application Planning of Geothermal Resources in Rizhao Wulian County Based on Multi Parameter Fusion

Xingchuan Li

Shandong 8th Geological and Mineral Exploration Institute, Rizhao Shandong
Email: jiangshanchao88624@126.com

Received: Jan. 29th, 2021; accepted: Mar. 17th, 2021; published: Mar. 24th, 2021

Abstract

In order to find out the geothermal resources in Wulian County, based on the investigation of hydrogeology, this paper analyzes the geothermal resources through EH-4 electromagnetic, shallow temperature measurement, temperature measurement drilling and other multi parameter fusion, and puts forward reasonable suggestions for the sustainable application of geothermal anomaly areas. Data analysis shows that four geothermal anomaly areas are delineated in this survey area: Guanshuai Beidian geothermal anomaly area, Dagugou geothermal anomaly area, Qianjiazhuang geothermal anomaly area and Wangjiadacun geothermal anomaly area. Among them, Guanshuai Beidian geothermal anomaly area is about 4.79 km², with an average geothermal gradient of 4.29°C/100m, and the highest is 7.00°C/100m; Dagugou geothermal anomaly area is about 0.3 km², with a geothermal gradient of 3.3°C/100m; Qianjiazhuang geothermal anomaly area is about 1.68 km², with a geothermal gradient of 5.38°C/100m; Wangjiadacun geothermal anomaly area is about 0.92 km², with a geothermal gradient of 2.47°C/100m. Among them, qianjiazhuangzi and Wangjiadacun have superior location, great development potential and high Economic value. This paper provides digital guidance for the rational use of geothermal resources in Wulian County, which has important application value.

Keywords

Wulian County, Geothermal Resources, Multi Parameter Analysis, Geothermal Anomaly Area

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“生态兴则文明兴 生态衰则文明衰” [1]。为实现可持续良性发展,发展地热能对我国经济社会的发展具有重要的战略意义,具体表现在城镇建筑节能、分布式电力等方面[2]。虽然我国地热能直接利用世界第一,但是利用效率不高[3]。基于此,原来越多的研究者投入到对地热资源的调研及应用研究方面,并取得一定的研究成果。张薇等人[4]通过分析鲜水河地热带、甘孜-理塘地热带和金沙江地热带典型地热田的地热流体化学组分特征研究获得四川西部中高温地热流体地球化学特征及其地质意义。毛翔等人[5]通过地热田边界、岩溶热储、水化学等多参数分析研究获得高阳地热田及邻区地热资源的形成机制。为维持地热资源可持续开采和预防地面沉降等地质环境问题,曹倩等人对国内外地热回灌发展现状及启示进行了系统性的分析及研究,针对地热尾水回灌的现状、问题给出合理化的建议。李肖兰等人[6]描述了目前山东全省的地热开发利用情况、开采现状和开采潜力,并根据鲁西北地热区和鲁东地热区的特征展开前景分析。为了对山东省地热资源进行细化研究,本文以五莲县作为研究对象通过电磁、温度等多参数融合分析对其地热资源进行分析,进而获取其地热异常区的热储模型计算容量,并对地热异常区可持续化开采利用提出合理化的建议。这对于实现五莲县地热资源的可持续发展具有一定的指导意义。

2. 调查区地质概况

2.1. 交通

五莲县位于山东半岛东南部,其地理坐标介于东经 118°55'20"至 119°30'25";北纬 35°32'41"至

35°59'23"之间，206 国道和 051、222 两条省道纵横交叉穿越境内，地理区位优势明显，交通便利，如图 1 所示。

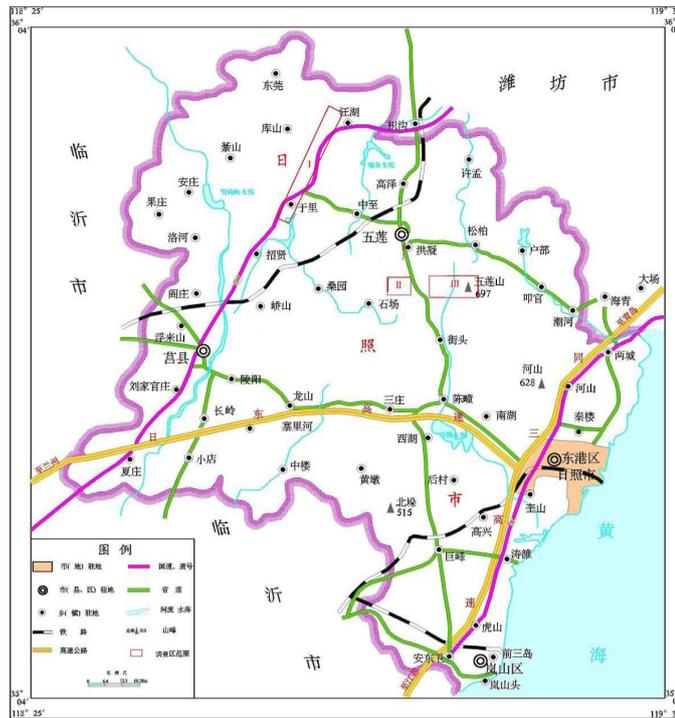


Figure 1. Traffic location map of survey area
图 1. 调查区交通位置图

2.2. 地形地貌

五莲县地处黄海之滨的鲁东南低山丘陵区，海拔高度在 18~706 米之间，地貌以山地丘陵为主，占总面积的 86%。山地、丘陵、平原分别占总面积的 50%、36%和 14%。境内山岭起伏，河川纵横，北部、西部有小块平原，如图 2 所示。

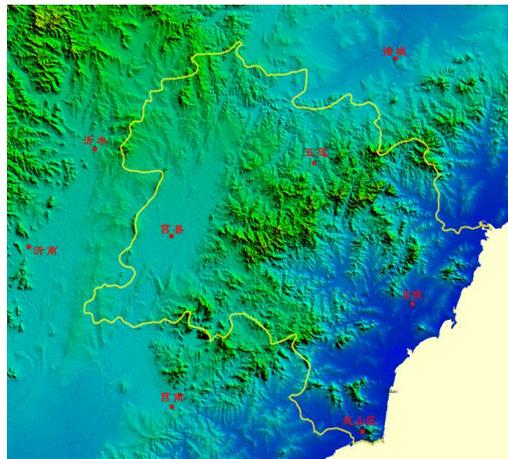


Figure 2. Topographic map of survey area
图 2. 调查区地形地貌图

2.3. 气象水文

五莲县属温带大陆性季风气候，一年四季周期性明显。县内河流多系季节性间歇河，河源大多出自境内，只有少量客水流入。境内河流大致分为潍河、沭河、傅疃河、潮白河 4 大水系。北流入潍河的较大河流有中至河、洪凝河、高泽河、院西河、涓河；西流入沭河的有袁公河；南流入傅疃河的有街头河；潮白河自成一系，东流入黄海。区内目前共建成水库塘坝 816 座，如图 3 所示。

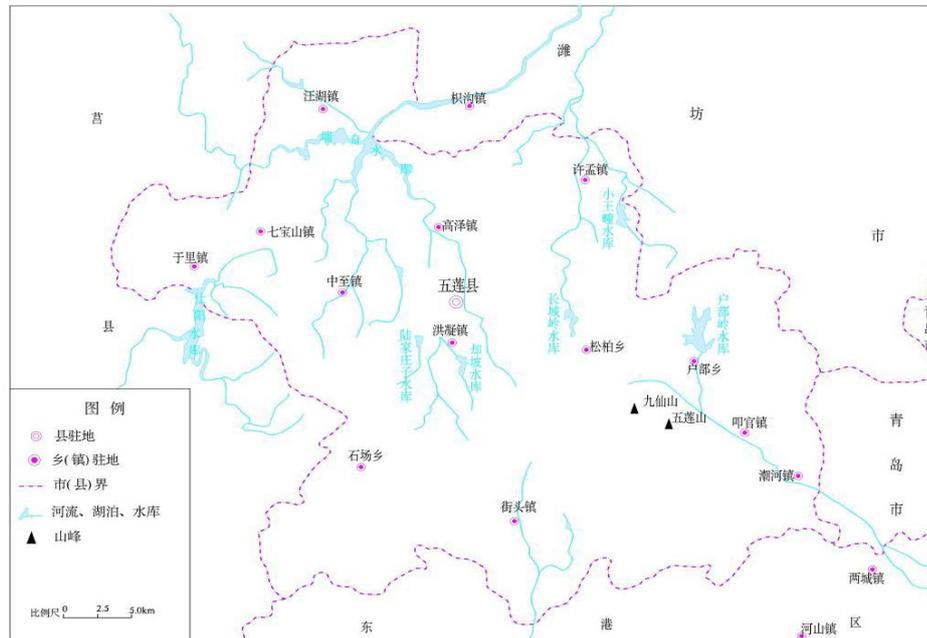


Figure 3. Water system distribution

图 3. 水系分布图

根据以往地热地质工作成果[7] [8]，五莲县境内成热条件较好的主要有三处，分别为五莲县于里 - 汪湖地热调查区(I)、灵公山地热调查区(II)及五莲山地热调查区(III)，三个调查区总面积约 280 km²。五莲县于里 - 湖地热调查区(I)位于五莲县于里镇 - 汪湖镇。调查范围主要沿昌邑 - 大店断裂两侧各一公里内进行，北起汪湖镇生家官庄，南至于里镇小窑村，东自汪湖镇徐家高化西至于里镇东汀沟。灵公山地热调查区(II)位于五莲县城南 3.0 km 灵公山地区，北起洪凝镇，南到汤家沟，东以中疃为界，西至灵公山，总面积约 80 km²。五莲山地热调查区(III)以五莲山断裂为轴心，南北宽 10 km，东西长 14 km，具体位置：北起户部乡小马鞍，南到户部乡栗园、东户部乡桃花峪，面积约 140 km²。

3. 多参数检测系统

3.1. 物探工作

本次地热调查中联合剖面选用仪器为重庆地质仪器厂生产的 DZD-6A 多功能电法仪和配套的整流变压设备，电源利用 2 KW 交流发电机供电。测深仪器选用美国著名的 Geometrics 公司和 EMI 公司联合研制的双源型 EH-4 电磁系统[9]。

3.2. 浅层测温

本次测温选用了天津市交通电子仪表试验厂生产的 SDW-A 型数字点温仪，测温范围为 -50℃~150℃，

分辨力 0.1℃，为保证所测温度的真实性，随时携带温度计对点温仪进行校对，测温精度 0.1℃。

3.3. 测温钻孔

为了解调查区地下水水量及地温梯度，设计测温钻孔时采用较大口径，钻孔开孔孔径 275 mm，终孔口径 219 mm，测温钻孔终孔后，为避免钻孔坍塌、缩径及上部第四系浅层水渗入地下影响测温效果，对上部第四系孔隙水采用无缝钢管它或 PVC 管进行止水，以确保终孔后能长时间多次测温。

4. 地热异常区划分及模型构建

根据我国华北地区地热正常区的盖层地温梯度一般在 3℃/100m 以下，并结合有关规范的要求，将地温梯度 3℃/100m 等值线作为工作区内地热正常区与地热异常区的界线，即地温梯度大于 3℃/100m 地区为地热异常区[10] [11]。据此，在里 - 汪湖地热调查区(I)内划出管帅 - 北店地热异常区、灵公山地热调查区(II)内划出大古沟地热异常区和五莲山地热调查区(III)内的钱家庄地热异常区，但在王家大村附近地段，由于北西向张扭性构造发育深度较大，野外对区内一 100 m 机井进行测温时地温梯度达到 2.46℃/100m。为了进一步验证该区内地温梯度，在对本区进行了物探联合剖面及 EH-4 电测深工作之后，对比较理想的部位进行了测温钻孔的施工，井深 150 m，测得地温梯度为 2.48℃/100m，根据花岗岩地区地热工作经验将地温梯度大于 2℃/100m 区域划为地热异常区。下面分别介绍四个地热异常区的地温梯度特征。

4.1. 管帅 - 北店地热异常区

(a) 地热异常区的划分

位于管帅镇驻地北侧，其中心位于管帅镇驻地及北店一带，在北东向昌邑 - 大店断裂与可控源物探控制的北西向 F1、F3 断裂交汇处(如图 4 所示)，异常区内地温梯度为 3.07℃~7.0℃/100m (如表 1 所示)，异常区面积约为 4.79 km²。

Table 1. Statistical table of geothermal gradient in guanshuai Beidian geothermal anomaly area

表 1. 管帅至北店地热异常区地温梯度统计表

井孔编号	井深(m)	静水位埋深(m)	恒温带(25 m 处)地温℃	地温梯度℃/100m
82	31	3.00	14.80	2.66
83	33	8.20	14.30	3.25
85	38	1.30	16.00	5.38
86	29	5.50	14.80	2.50
87	38	6.00	16.00	2.22
88	33	1.50	14.80	3.07
90	35	4.50	14.50	2.00
95	59	11.0	14.0	2.35
H1	33	9.4	14.1	3.70
121	110	13.0	14.3	1.33
122	60	21.0	13.9	1.82
124	43	8.0	14.2	1.25
133	38	15.0	14.4	7.00
134	56	10.0	14.3	4.00
135	40	9.0	14.2	3.07

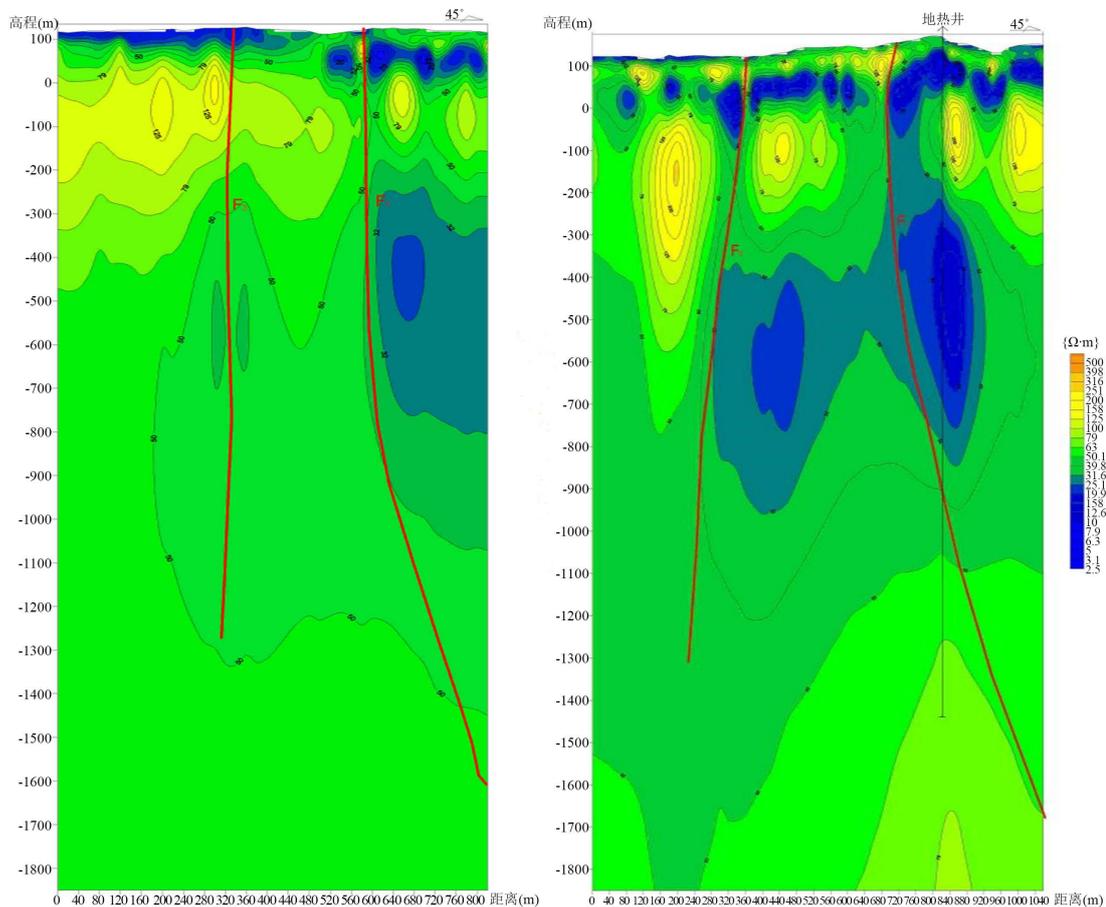


Figure 4. F1 and F3 faults determined by inversion resistivity cross section of line 00 and line 300

图 4. 00 线及 300 线反演电阻率断面图确定的 F1 及 F3 断裂

(b) 热储概念模型的建立

管帅 - 北店地热异常区分布于于里 - 汪湖地热普查区内, 位于北东向昌邑 - 大店断裂与物探控制的北西向 F1、F3 断裂交汇处昌邑 - 大店断裂管帅段, 走向北东 20° 左右, 倾向南东, 倾角 80° 左右, 由数条断裂组成, 性质为压扭性, 附近打井常出现断层泥, 有阻、隔水功能。F1 断裂为一条隐伏构造, 根据物探资料, 走向 305° 左右, 上部近直立, 下部倾向北东, 倾角 80° 左右, 宽度 30~50 m, 发育深度大于 2000 m, 且富水性好, 为本异常区控热及导热构造, 同时也是异常区的边界, 属断控半封闭型热储, 在后期进行地热井开采的同时, 沿断裂带上游可以接受大气降水及地表水的入渗补给。物探控制长度 800 m。总之 F1 断裂发育深度大, 导热性能好是形成地热的主导因素。

① 热储层: 区内白垩系王氏群、大盛群地层广布, 由于区内不同走向断裂纵横交错, 因而, 破碎带发育, 为地下水的储存、运移和深循环加温提供了空间, 属典型的带状热储。区内热储层主要为王氏群、大盛群地层。

② 盖层: 上部王氏群、大盛群含砾砂岩中薄层紫红色粉细砂岩层, 致密不透水、不导热, 保温隔水性能好, 为良好的盖层。

③ 通道: 昌邑 - 大店断裂及 NW 向次级断裂构造破碎带沟通了深部热源, 成为地下水深循环的通道。

④ 热源、水源: 构造对深部热源沟通应是本区的重要热源; 而大气降水补给是地下热水的重要来源, 如图 5 所示。

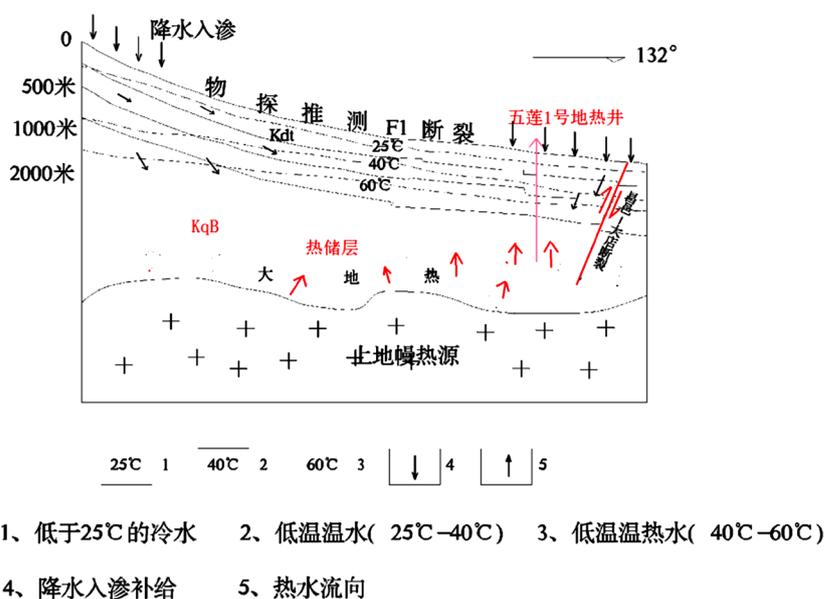


Figure 5. Conceptual model of geothermal reservoir in guanshuai Beidian geothermal anomaly area

图 5. 管帅 - 北店地热异常区热储概念模型

4.2. 大古沟地热异常区

(a) 地热异常区的划分

大古沟地热异常区分布于灵公山地热普查区内，中心位于五莲县委西南洪凝镇大古家沟村，面积约 0.54 km^2 。构造位置上处在北西向大古家沟至蒲家洼构造与北东向大古沟至黄山口构造交汇处，因地深民井极少，在野外测温时只测到一眼深度大于 30 m 的民井，地温梯度达到 $3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，但远离该构造的其它部位民井地温梯度一般在 $0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m} \sim 1.25^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之间(如表 2 所示)，在对北西向大古家沟至蒲家洼构造进行确认时的物探联合剖面显示，该条构造影响宽度及深度皆不大，甚至在有的地方没有正交点出现，也就是说它的连续性差，通过在小风塘 66 号民井测温资料可以看出，该民井正好位于北西向大古沟至蒲家洼断裂上，其地温梯度只有 $0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，同样在位于长兰至红泥崖断裂带上的确 73 号民井，由于不在构造复合部位，其地温梯度也只有 $1.82^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，之所以在大古沟村出现地温梯度为 $3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 的异常，根据资料分析，其原因应为在东北向黄山口至大石沟断裂与北西向大石沟至蒲家洼断裂共同影响，致使该处岩石较为破碎，影响深度较大所致，向黄山口 - 大石沟断裂与北西向大石沟 - 蒲家洼为本区最主要的控热和导热构造，热异常区边界受其构造破碎带的发育边界控制，属断控半封闭型热储，除此小区域以外其它区域地温梯度普遍小于 $2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，这充分说明在本调查区内地质构造在控热、导水方面的重要性。

Table 2. Geothermal gradient statistics of dagugou geothermal anomaly area

表 2. 大古沟地热异常区地温梯度统计表

井孔编号	井深(m)	静水位埋深(m)	25 m 处地温 $^{\circ}\text{C}$	地温梯度 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$
60	33	3.5	14.3	1.25
61	30	3.0	14.4	3.33
51	36	4.5	14.5	2.00
48	37	11.0	14.6	2.00

Continued

47	33	6.0	14.4	1.33
46	40	7.5	14.3	0.77
64	100	8.0	15.3	0.58
45	59	11.0	14.0	1.56
44	33	9.4	14.1	1.67
99	110	13.0	14.3	1.53
49	60	21.0	13.9	1.18
58	43	8.0	14.2	1.88
65	38	15.0	14.4	1.67
59	56	10.0	14.3	1.72
77	40	9.0	14.2	1.54
79	39	7.0	14.3	1.54
78	35	1.0	13.8	1.43
50	35	11.0	14.4	1.25
51	36	4.5	14.5	2.00
66	50	27.0	14.5	0.56
80	34	10.0	13.9	1.42
53	38	2.8	14.5	1.74
56	34	7.8	14.4	1.43
62	32	0.9	14.4	2.00
57	35	5.6	15.0	2.00

(b) 热储模型的建立

该异常区处在五莲山地热调查区，中心位于大古沟村西南，大古沟至黄山口断裂压扭性断裂与北西向大古沟至蒲家洼张扭性断裂交汇处，北东向断裂具有一定的阻水作用，而北西向断裂则具有一定的导水及储水功能，大气降水沿北西断裂入渗补给，经断裂面下渗至深部加热运移至相对破碎带集中形成地热异常区。

① 热储层：区内白垩系莱阳群龙王庄组砂页岩广布，由于大古沟至蒲家洼断裂的切割破坏形成深度不一同时较破碎的带与大古沟至黄山口断裂共同形成的影响破碎带，为地下水的储存、运移和深循环加热提供了空间，形成本区的热储层。

② 盖层：上部白垩系莱阳群龙王庄组砂页岩，致密不透水、导热性能差，为良好的盖层。

③ 通道：北西向大古沟至蒲家洼张扭性构造破碎带沟通了深部热源，成为地下水深循环的通道。

④ 热源、水源：构造对深部热源沟通应是本区的重要热源，而大气降水补给是地下热水的重要来源，如图 6 所示。

4.3. 钱家庄子地热区**(a) 地热异常区的划分**

钱家庄子地热异常区位于五莲山地热调查区西北部，松柏乡钱家庄子村，构造位置上处在北东向李子店至潘家庄断裂中段，该处构造宽度较大，为一构造破碎带，其两侧见有断层泥及碎裂岩块，具有一定的导水及储水性能，由于其影响范围及发育深度有限，因此所形成的地热异常区面积也较小，仅有 1.68 km²，其温梯度等值线及恒温带等值线图如图 7 所示。在对该条构造进行确认时的物探联合剖面显示，该

条构造存在, 在进行联合剖面时在 7 剖面 108 点发现正交点, 由于其距钱庄子至黄山口断裂较远, 初步认为该处正交点为该断裂影响带, 但其发育深度只有 500 m 左右, 如图 8 所示。通过对本条构造其它部位所测民井地温资料分析, 在钱家庄东西两侧地温梯度及恒温带温度明显变小, 说明北东向构造为本异常区控热及导热构造, 同时也是异常区的边界, 属断控半封闭型热储, 在后期进行地热井开采的同时, 沿断裂带上游可以接受大气降水及地表水的入渗补给。

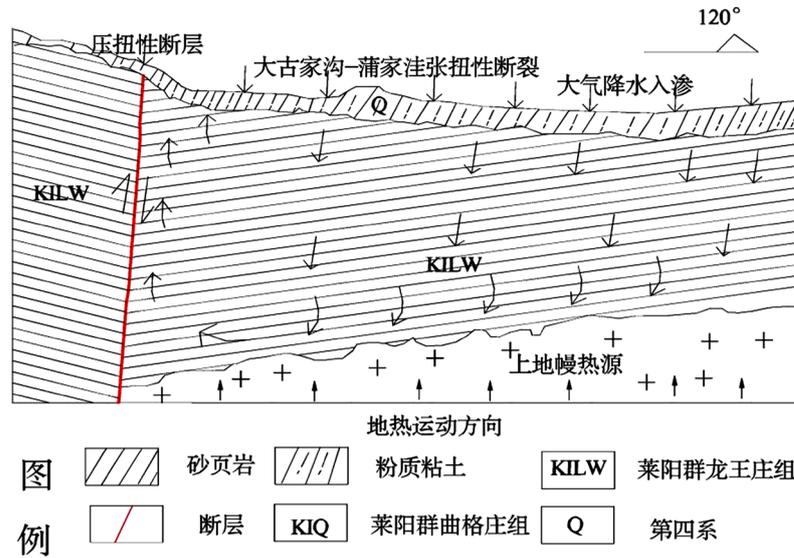


Figure 6. Conceptual model of thermal reservoir in dagugou geothermal anomaly area
图 6. 大古沟地热异常区热储概念模型

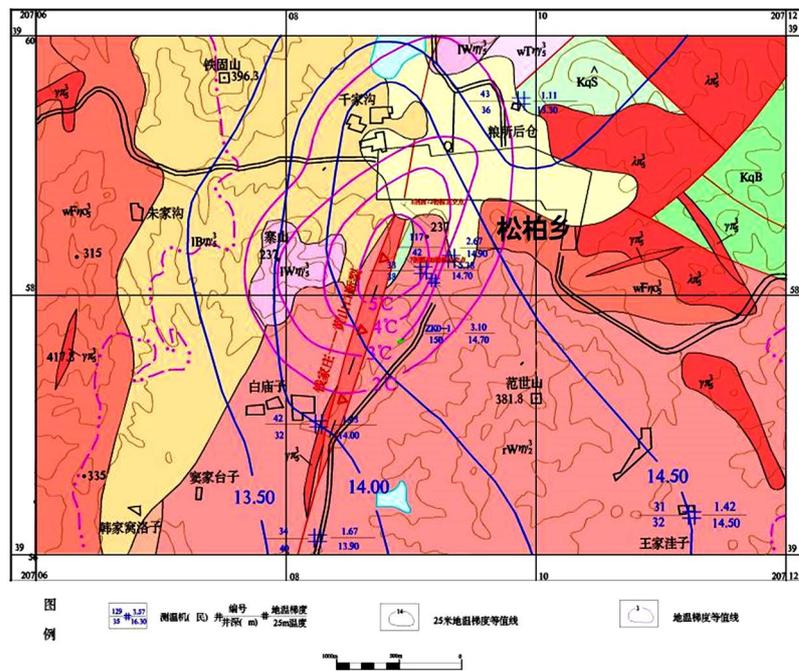


Figure 7. Isolines of geothermal gradient and isotherms in qianjiashuang
图 7. 钱家庄地温梯度等值线及恒温带等值线图

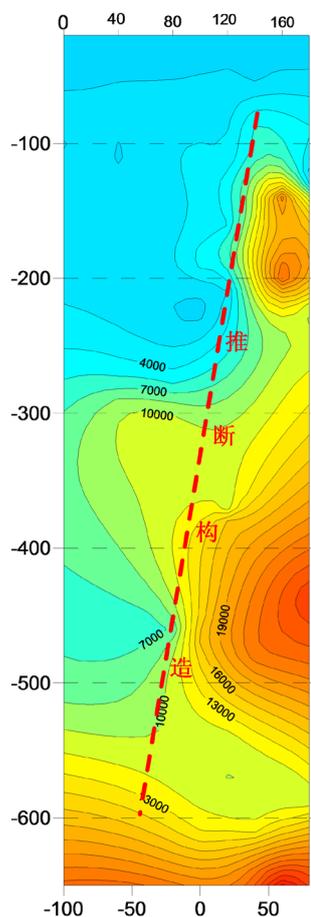


Figure 8. Cross section of EH-4 inversion resistivity
图 8. EH-4 反演电阻率断面图

b) 热储模型的建立

该异常区中心位于钱家庄村西侧，处在李子店至潘家庄断裂中段，测温民井位于其东侧影响带内，从电测深剖面图可以看出，构造总体倾向西，发育深度 500 m 左右，大气降水及地表水沿构造影响带下渗对地下水补给下渗至深部加热形成地热资源。

① 热储层：构造破碎带为地下水的储存、运移和深循环加热提供了空间，形成本区的热储层，具带状热储的特征。

② 盖层：上部晋宁期荣城超单元威海单元片麻状细粒花岗岩为良好的盖层。

③ 通道：北东向构造破碎带沟通了深部热源，成为地下水深循环的通道。

④ 热源、水源：构造对深部热源沟通应是本区的重要热源；而大气降水补给是地下热水的重要来源，如图 9 所示。

4.4. 王家大村地热异常区

(a) 地热异常区的划分

王家大村异常区位于五莲山地热调查区内王家大村村西，该地热异常区地处五莲山及九仙山风景区，省道 334 公路从中穿过，距日照市区仅三十余公里，此处地热资源的勘查开发前景十分广阔，其地温梯度等值线及恒温带等值线图如图 10 所示。所处构造位置位于北西向松柏至宋家村断裂与北东向陆家沟

至黄崖川断裂交汇部位，其中黄崖川至宋家村段为本次物探所确定的隐伏断裂，后经物探电测深资料证实，该处构造发育，且发育深度及宽度皆较大，总体倾向南，发育深度 1200 m 以上，两构造共同影响宽度超过 200 m，如图 11 所示。松柏至宋家村子断裂与陆家沟至黄崖川断裂为本异常区控热及导热构造，交汇部位构造破碎带边界为异常区的边界，属断控半封闭型热储。

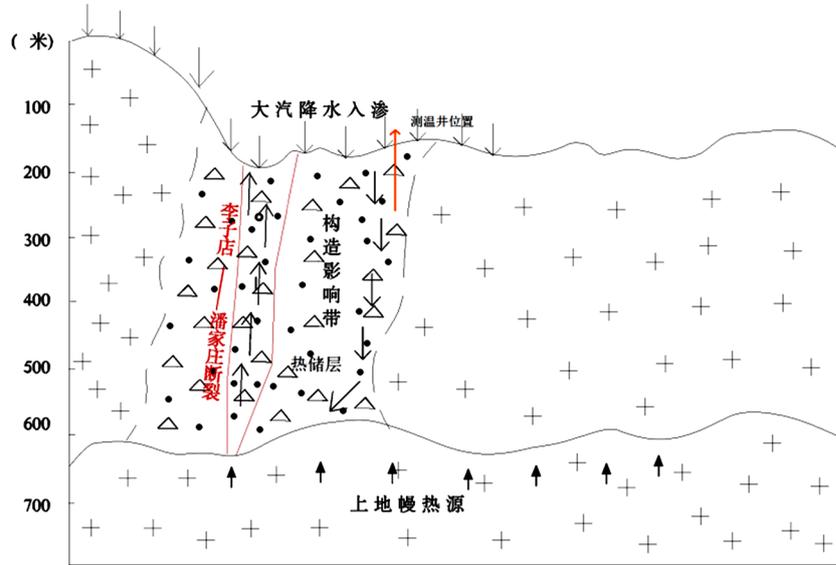


Figure 9. Conceptual model of qianjiazhuangzi thermal reservoir
图 9. 钱家庄子热储概念模型

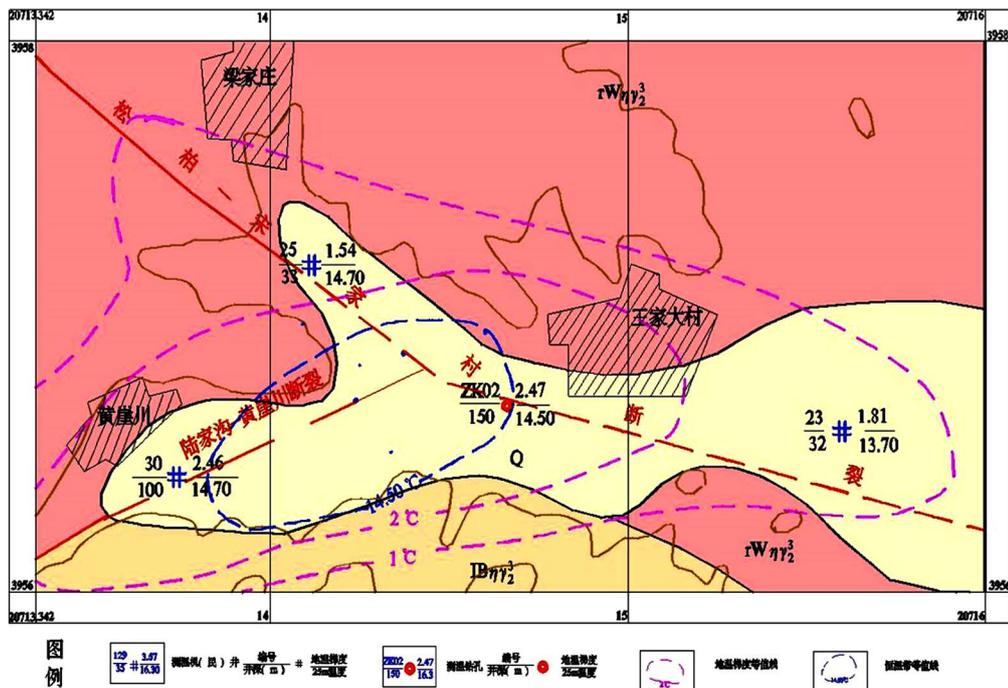


Figure 10. Isoline of geothermal gradient and isline of constant temperature zone in wangjiadacun geothermal anomaly area
图 10. 王家大村地热异常区地温梯度等值线及恒温带等值线图

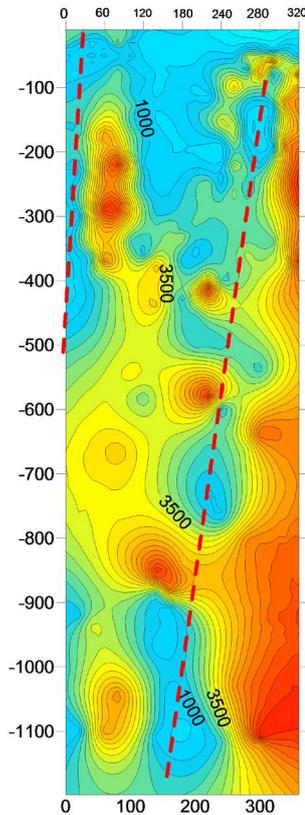


Figure 11. Resistivity curve of EH-4 in wangjiadacun
图 11. 王家大村 EH-4 电阻率曲线图

(b) 热储模型的建立

该异常区中心位于王家大村村西侧，处在两条构造交汇部位，北西向构造为一张扭性质，在北东向构造的共同影响下，其发育深度及宽度均有所增加，从电测深剖面图可以看出，北西向构造总体倾向向南，发育深度超过 1200 m，同时该处地热异常区划在区域上处于低洼处，有利于大气降水的补给，在其东侧北东的向断裂带龙湾头至丁家楼子断裂为压力扭性断裂，具有一定的阻水作用，能够使本区形成一个地下水的良好汇集盆地，大气降水及地表水沿构造下渗对地下水补给下渗至深部加热形成地热资源。

① 热储层：区内两条构造影响形成的深大破碎带为地下水的储存、运移和深循环加热提供了空间，形成本区的热储层。

② 盖层：上部晋宁期荣城单元威海单元片麻状二长花岗岩为良好的盖层。

③ 通道：两大构造形成的构造破碎带沟通了深部热源，成为地下水深循环的通道。

④ 热源、水源：构造对深部热源沟通应是本区的重要热源；而地表河流及大气降水补给是地下热水的重要来源，如图 12 所示。

5. 地热资源量的计算与应用研究

5.1. 计算与评价方法

按地热资源地质勘查规范((GB11615-2010)提出的地热田储量计算原则的计算方法和要求，同时参照原地矿部标准《地热资源评价方法》(DZ40-85)，并结合工作区的具体情况，进行地热资源量的估算和评价。

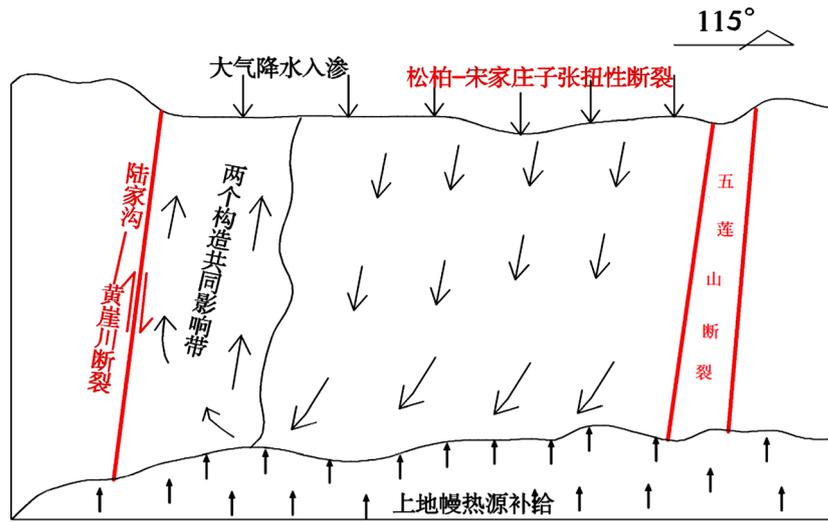


Figure 12. Conceptual model of wangjiadacun heat storage
图 12. 王家大村热储概念模型

用热储法计算地热资源量[12] [13], 其公式为

$$Q = Q_r + Q_w$$

$$Q_r = Ad\rho_r c_r (1-\varphi)(t_r - t_0)$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = A\varphi d$$

$$Q_2 = AsH$$

$$Q_w = Q_{Lw} c_w \rho_w (t_r - t_0)$$

其中, Q ——热储中储存的热量, J; Q_r ——岩石中储存的热量, J; Q_w ——水中储存的热量, J; A ——计算区面积, m²; d ——热储厚度, m; ρ_r ——热储岩石密度, kg/m³; c_r ——热储岩石比热, J/kg·°C; φ ——热储岩石的空隙度, 无量纲; t_r ——热储温度, °C; t_0 ——当地年平均气温, °C; ρ_w ——地热水密度, kg/m³; s ——弹性释水系数, 无量纲; H ——计算起始点以上高度, m; c_w ——水的比热, J/kg·°C。

5.2. 计算参数的确定

根据《地热资源地质勘查规范》(GB11615-2010)提供的岩石比热、密度数据等资料, 选定计算参数如表 3。采用热储法对调查区各地热异常区进行上式各参数的确定及计算。

Table 3. Calculation parameters of each geothermal anomaly area
表 3. 各地热异常区计算参数一览表

名称	A (m ²)	D (m)	ρ_r kg/m ³	c_r J/kg·°C	φ	t_r °C	t_0 °C	ρ_w kg/m	H m	c_w J/kg·°C	岩性
管帅 - 北店	4.79×10^6	200	2600	878	0.15	72.34	12.7	977.7	60	4.21×10^3	砂岩
大古沟	2.98×10^5	50	2700	794	0.70	29.35	12.7	995.1	100	4.21×10^3	花岗岩
钱家庄	1.68×10^6	50	2700	794	0.70	39.60	12.7	992.2	100	4.21×10^3	花岗岩
王家大村	0.92×10^6	100	2700	794	0.70	40.5	12.7	992.2	100	4.21×10^3	花岗岩

说明:

- 1) 日照市多年平均气温为 12.7℃, 低于当地恒带平均温度 15℃, 在计算时按多年平均气温计。
- 2) 管帅 - 北店地热异常区为王氏群、大盛群含砾砂岩中薄层紫红色粉细砂岩层, 其比热、密度采用表中砂岩数值。
- 3) 地下水密度: 管帅 - 北店地热异常区地温梯度采用区内各测温民井平均值 4.29℃/100m, 热储深度按 1400 m 计算, 求得该深度水温为 72.34℃, 然后查表得 977.7 kg/m³; 大古沟及钱家庄异常区按 500 m 计算, 王家大村按 1200 m 计算。
- 4) 管帅 - 北店异常区弹性释水系数采用五莲地热井降压试验资料, 用泰斯公式求得弹性释水系数数值 2.37×10^{-4} 。其它地热异常区采用经验值 1.68×10^{-4} 。
- 5) 由于大古沟地热异常区位于村内, 无法进行物探工作, 其构造发育深度为估算值。

5.3. 地热资源量的计算

根据《地热资源地质勘查规范》(GB11615-2010)提供的岩石比热、密度数据等资料, 选定计算参数如表 4 所示。

Table 4. Calculation results of parameters in each geothermal anomaly area
表 4. 各地热异常区参数计算结果一览表

名称	Q_1 (m ³)	Q_2 (m ³)	Q_L (m ³)	Q_w (J)	Q_r (J)	Q (J)
管帅 - 北店	1.44×10^8	6.81×10^4	1.44×10^8	3.53×10^{16}	1.11×10^{17}	1.46×10^{17}
大古沟	1.04×10^7	5.00×10^3	1.04×10^7	7.28×10^{14}	1.60×10^{14}	8.87×10^{14}
钱家庄	5.88×10^7	2.82×10^4	5.88×10^7	6.61×10^{15}	1.45×10^{15}	8.06×10^{15}
王家大村	6.44×10^7	1.55×10^4	6.44×10^7	7.48×10^{15}	1.64×10^{15}	9.12×10^{15}

5.4. 地热资源量评价

将上述各参数代入公式进行计算, 结果表明: 推断管帅 - 北店地热异常区热储的热能储存量为 1.46×10^{17} J, 大古沟地热异常区热储的热能量 8.87×10^{14} J, 钱家庄地热异常区热储和热能量为 8.06×10^{15} J, 王家大村地热异常区热储和热能量为 9.12×10^{15} J, 煤的热值按 1 kg 为 2.93×10^7 J 换算, 将上述各地热异常区的热能量换算成标准煤分别相当于 498、3.02、27.51、31.13 万吨标准煤的产热量。

用热储法计算出的资源量不能全部被开采出来, 只能开采出一部分, 二者的比值称为回收率。根据地矿部 DZ40-85 标准, 热储量的回收率定为 0.15, 这样四个地热异常区地热田热储可采热储量为 2.19×10^{16} J, 1.33×10^{14} J, 1.21×10^{15} J, 1.37×10^{15} J, 相当于 74.7、0.453、4.13、4.67 万吨标准煤的产热量。

本区的地下热能由水作为载体, 必须以地热井的形式开采。管帅 - 北店地热异常区地热田面积为 4.79×10^6 m², 热储厚度 200 m 和热储层裂隙率 0.15 计算, 本区热水储存量为 14,370 万 m³; 大古沟地热异常区地热田面积为 2.98×10^5 m², 热储厚度 50 m 和热储层裂隙率 0.7 计算, 本区热水储存量为 1043 万 m³; 钱家庄地热异常区地热田面积为 1.68×10^6 m², 热储厚度 50 m 和热储层裂隙率 0.7 计算, 本区热水储存量为 5880 万 m³; 王家大村地热异常区地热田面积为 0.92×10^6 m², 热储厚度 100 m 和热储层裂隙率 0.7 计算, 本区热水储存量为 6440 万 m³。如果各地热异常区均按 1 眼地热井开采, 管帅 - 北店异常区单井出水量按 500 m³/d 计, 大古沟及钱家庄异常区单井出水量按 120 m³/d 计, 王家大村异常区单井出水量按 240 m³/d 计, 年开采量管帅 - 北店异常区为 18.25 万 m³; 大古沟及钱家庄异常区为 4.38 万 m³; 王家大村异常区为 8.76 万 m³。

依上述计算和假设的开采量方案, 管帅 - 北店异常区可开采 787 年, 大古沟异常区可开采 238 年, 钱家庄异常区可开采 1340 年, 王家大村异常区可开采 735 年。由此也说明各异常区的热储量是比较丰富的。地下热水是经深循环补给的, 补给途径远、时间长, 地下热水如果过量开采, 势必会造成水位大幅下降, 热水温度降低, 水源枯竭等问题, 丰富的地下热能将无法开采利用。因此, 如进行更大规模开采, 必须经过更高级别的勘查论证, 提出可靠的地热资源允许开采量和合理的开采利用方案。

6. 结论

从区域地质、构造位置、水文地质条件、成热条件分析, 本区内几个地热异常区均处在构造交汇部位, 其地热类型均为构造控制的条带状, 地热的形成受构造的发育深度、宽度等因素控制, 尤其是受北西向构造控制明显, 但北东构造在地热形成过程中也起到了重要作用, 在两个方向构造的共同影响下, 北西向构造的发育深度及宽度均有不同程度的加深加宽, 同进北东向构造的压扭性质起到了阻水作用, 为地下水的存储、地下热水的形成起到一定的控制作用。本次调查区作圈划出四个地热异常区: 管帅 - 北店地热异常区、大古沟地热异常区、钱家庄地热异常区和王家大村地热异常区。管帅 - 北店地热异常区: 面积约 4.79 km², 区内平均地温梯度 4.29°C/100m, 最高处为 7.00°C/100m, 受北东向昌邑 - 大店断裂及北西向断裂控制, 热储顶板埋深变化较大, 发育深度 1500 m 以上, 推算热储在 1400 m 深处的地温为 72.34°C。大古沟地热异常区: 面积约 0.3 km², 地温梯度 3.3°C/100m, 受北东及北西向构造共同控制, 推测发育深度大于 500 m, 推算热储在 500 m 深处的地温为 29.20°C。钱家庄地热异常区: 面积约 1.68 km², 地温梯度 5.38°C/100m, 受北东向构造破碎带控制, 发育深度仅 500 m 左右, 推算热储在 500 m 深处的地温为 39.65°C。王家大村地热异常区: 面积约 0.92 km², 地温梯度 2.47°C/100m, 热储顶板埋深若按 1100 m 计, 推算热储在 1200 m 深处的地温为 40.5°C。对后续利用建议: 1) 在已划出的四个地热异常区, 除管帅 - 北店异常区工作程度较高, 其它三个异常区建议在开展地热井钻探时, 由于 EH-4 连续电导率测深的有效深度为 800 m, 虽然 800 m 以下还有低电阻率的特征趋势, 但控制该区域的数据量相对较少, 了解深部地质体的电性情况, 以具体确定开采井位; 2) 开展对开发潜力大, 位置优越的钱家庄子、王家大村地热区, 经济利用价值高。

参考文献

- [1] 新华网. 习近平: 生态兴则文明兴 生态衰则文明衰[EB/OL]. http://www.xinhuanet.com/video/2019-04/29/c_1210121835.htm
- [2] 王成福. 我国地热能产业高质量发展模式研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [3] 李天舒, 王惠民, 黄嘉超, 等. 我国地热能利用现状与发展机遇分析[J]. 石油化工管理干部学院学报, 2020, 22(3): 62-66.
- [4] 张薇, 王贵玲, 赵佳怡, 等. 四川西部中高温地热流体地球化学特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2021(15): 1-11.
- [5] 曹倩, 方朝合, 李云, 王汉雄, 方群, 史向阳. 国内外地热回灌发展现状及启示[J/OL]. 石油钻采工艺, 2021: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1072.TE.20210122.1819.002.html>
- [6] 李肖兰, 杜焯伟, 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.
- [7] 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(S1): 192-196.
- [8] 王士路, 秦福锋. 五莲县松柏地热井回灌可行性分析[J]. 山东煤炭科技, 2019(7): 177-179.
- [9] 李叶飞, 覃良厅, 冯建辉. 音频大地电磁法基于 EH4 连续电导率成像系统在广西南丹某矿区溶洞勘探中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2020(9): 247-248.
- [10] 汪新伟, 王婷灏, 张瑄, 等. 太原盆地西温庄地热田的成因机制[J]. 地球科学, 2019, 44(3): 1042-1056.
- [11] 董红伟, 王飞, 段绪峰, 等. 渤海湾盆地干热岩型地热资源有利区位研究[J]. 城市地质, 2019, 14(2): 97-110.

- [12] 何雨江, 丁祥. 基于参数辨识的典型区地热资源量研究——以银川平原西部斜坡区为例[J]. 地质学报, 2020, 94(7): 2131-2138.
- [13] 王婷灏, 汪新伟, 张瑄, 等. 太原盆地岩溶热储地热资源评价[J]. 现代地质, 2020, 34(2): 297-308.