

# 多参数融合分析下日照市莒县县城东部周边地热资源勘查评价研究

李星传

山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照  
Email: lxch\_11789@126.com

收稿日期: 2021年1月4日; 录用日期: 2021年1月22日; 发布日期: 2021年1月29日

## 摘要

开发地热资源不仅可以加快当地地方经济的发展, 而且能带动旅游业的兴旺。为对莒县县城东部周边地热资源勘查应用前景做出量化评价, 本文通过水文地质调查、电阻率联合剖面、视电阻率激电测深、EH-4电磁测深、测温钻孔等多参数融合实现对调查区域的地热资源评价分析研究, 从而为地热找矿提供数据支持。通过对多参数融合数据分析表明: 1) 店子集略庄地区在CSAMT-1线第200点附近, 此地段构造发育深度达2000 m以上, 宽度超过200 m, 倾向SW, 倾角75°, 富水性强, 增温率好, 具备成熟成矿条件; 2) 陵阳小官河地区在CSAMT-1线第800点附近, 此处构造发育深度大于1800 m, 倾向NE, 倾角75°左右, 富水性强, 增温率3.5°C/100m, 成熟成矿条件较好; 3) 碁山镇珠山村地区, AMT-1线480至560点之间靠近560点构造发育深度2000 m, 宽度超过200 m, 倾向SW, 倾角85°左右, 富水性强, 增温率2.97°C/100m, 具有较好的成熟成矿条件。进而, 本文建议在调查区略庄CSAMT-1线第200点附近实施地热井钻探, 设计孔深2000 m, 预计水温大于50°C以上, 水量大于2000 m<sup>3</sup>/d。这为调查区地热资源的合理开发利用提供数值化的指导建议, 具有重要的实际应用前景。

## 关键词

地热资源, 多参数融合, 量化研究, 增温率

# Comprehensive Evaluation of Eco-Geological Environment of Rizhao International Ocean City Based on Expert-Hierarchical Analysis Weighting Method

Xingchuan Li

Shandong 8th Geological and Mineral Exploration Institute, Rizhao Shandong

---

Email: lxch\_11789@126.com

Received: Jan. 4<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2021; published: Jan. 29<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

The development of geothermal resources can not only accelerate the development of local economy, but also promote the prosperity of tourism. In order to make a quantitative evaluation of the application prospect of geothermal resources exploration in the eastern periphery of Juxian County, this paper realizes the evaluation and analysis of geothermal resources in the investigation area through the fusion of multi parameters such as hydrogeological survey, resistivity joint profile, apparent resistivity IP sounding, EH-4 electromagnetic sounding, temperature measurement drilling, so as to provide data support for geothermal prospecting. Through the analysis of multi parameter fusion data, it is shown that: 1) near the 200th point of csamt-1 line, the structural development depth of this section is more than 2000 m, the width is more than 200 m, the dip angle is 75° and the dip angle is SW, the water rich property is strong, the temperature increasing rate is good, and it has the conditions of thermogenesis and mineralization; 2) near the 800th point of csamt-1 line, the structural development depth of this section is more than 1800 m and the dip angle is 75°. In Zhushan village, Qishan Town, the structure between 480 and 560 points of amt-1 line is close to 560 points, with a depth of 2000 m, a width of more than 200 m, a dip angle of about 85° and a strong water-rich property, with a temperature increase rate of 2.97°C/100m. Furthermore, this paper suggests that geothermal well drilling should be carried out near the 200 point of csamt-1 line in luezhuang, the designed hole depth is 2000 m, the water temperature is expected to be more than 50°C and the water volume is expected to be more than 2000 m<sup>3</sup>/d. It provides numerical guidance and suggestions for the reasonable development and utilization of geothermal resources in the survey area, and has important practical application prospects.

## Keywords

Geothermal Resources, Multi Parameter Fusion, Quantitative Research, Warming Rate

---

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. 前言

地热资源作为一种新兴的绿色能源,应用广泛,易于开发,费用低廉,无环境污染,具有其它能源无法比拟的优越性,已普遍应用于供暖、生活洗浴、热水理疗、温池游泳、温水养殖、温室种植等领域[1][2]。随着国民经济的发展和世界性能源的日趋紧张,地热作为一种可供人类开发利用并有着巨大发展前景的新型能源,对改善投资环境,促进经济的可持续发展,意义重大。在能源需求日益增加、环保意识日益增强的今天,地热资源倍受人们青睐,开发前景十分广阔[3]。在大力开发利用地热新能源形式下,多学科的融合,大量新技术、新方法的出现,给地热资源勘探与开发利用注入了新的活力[4]。何治亮等人借鉴油气地质分级分析与评价的经验,尝试性地提出了一套从全球构造到地热藏的地热单元分类分级评价的思路[5]。邓波等人通过多区域和多案例的数据经验比较分析,总结在中深层地热资源合理开发利用过程中的技术、安全、经济性、运行等方面需要关注的问题,为今后中深层地热综合利用工程的实施

提供参考[6]。Stuart F. Simmons 总结得出地热资源分布在会聚板块边缘、裂谷、海洋岛屿热点和大规模伸展的构造活动区,并在应用多种不同的地质、地球化学和地球物理勘探方法的基础上,对资源进行了识别和钻探[7]。莒县县城东部周边地区,区域地质构造发育,具备地热成矿条件,具有良好的地热找矿前景[8] [9]。为量化莒县县城东部周边地区的地热资源,本文通过水文地质调查、电阻率联合剖面、视电阻率激电测深、EH-4 (可控源变频大地电磁测量)电磁测深、测温钻孔等多参数融合实现对调查区域的地热资源评价进行分析研究,可为调查区地热资源的合理开发利用提供数值化的指导建议,具有重要的实际应用前景。

## 2. 调查区地质水文概况

### 2.1. 地质概况

调查区地貌属丘陵、平原区,中部为宽阔的沭河冲洪积平原,东西部为剥蚀丘陵区,地形起伏不大,总体地势中间低东西两侧高,如图1所示。

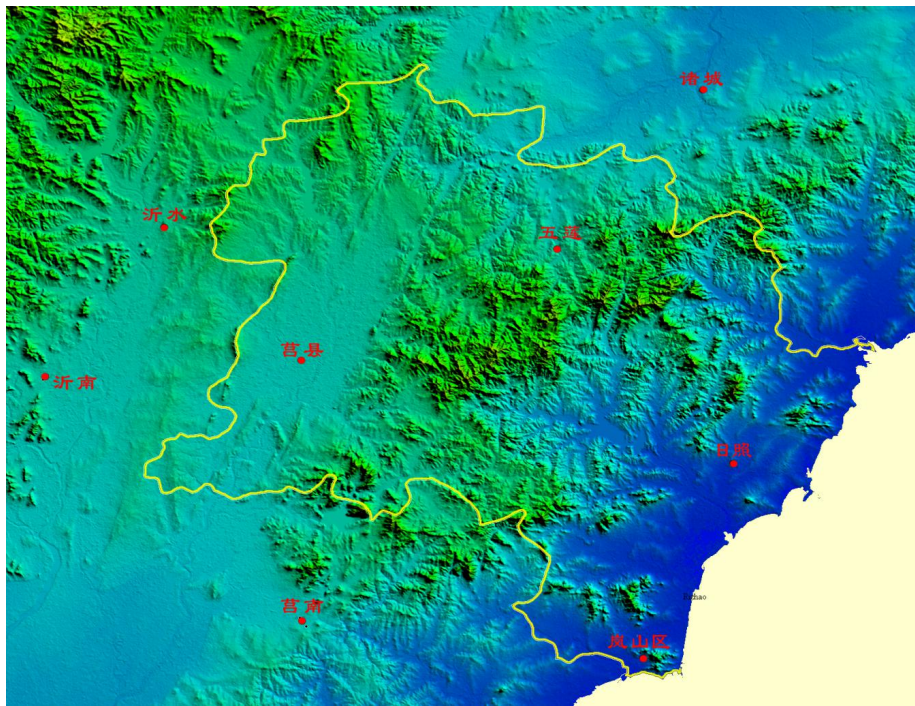


Figure 1. Topographic map of survey area

图 1. 调查区地形图

在文献调研莒县幅区域地质调查报告的基础上[10],调查区内陵阳、店子集及碁山三个地区构造发育,地热成矿条件好,总面积约 76 km<sup>2</sup>。区内没有其它探矿区。

#### 1) 陵阳勘查区

陵阳勘查区位于莒县县城东南陵阳镇约 3 km,包括小官河口、陵阳、大放鹤至小岭范围,地理坐标为:东经 118°23'23"~118°55'10",北纬 35°27'55"~35°33'28",面积 28 km<sup>2</sup>。

#### 2) 店子集勘查区

店子集勘查区为店子集略庄至于家石河一带,地理坐标为:东经 118°51'08"~118°57'53",北纬 35°32'12"~35°51'08",面积 22 km<sup>2</sup>。

### 3) 碁山勘查区

碁山勘查区在碁山镇北部西尚庄及东北部官家坡至青云庵一带，地理坐标为：东经  $118^{\circ}49'54''\sim 118^{\circ}58'24''$ ，北纬  $35^{\circ}50'34''\sim 35^{\circ}56'12''$ ，面积  $26\text{ km}^2$ 。

## 2.2. 水文概况

调查区属淮河流域，境内最主要河流为沭河，属温带大陆性季风气候，一年四季周期性明显，冬无严寒，夏无酷暑，雨量充沛，季节性降水明显，日照充足，热能丰富，年平均气温  $12.6^{\circ}\text{C}$ ，历年平均降水量  $767.1\text{ mm}$ ，6~9 月为雨季，年平均日照时数  $2249.3$  小时，年蒸发总量平均为  $1740.2\text{ mm}$ 。

## 3. 调查区各勘查区构造条件

### 3.1. 陵阳勘查区

由于昌邑 - 大店断裂在该勘查区出露较好，调查发现其主要性质表现为压扭性，区域地质资料显示，其发育深度大，导水及富水性较差，但其两侧与之相交的 NW 及近 EW 向构造性质为张扭性，受昌邑 - 大店断裂影响，其发育深度较大，具有良好的导水、导热及富水性能，具备地热形成的基本条件，因此在剖合剖面及 EH-4 电测[11]深的基础上，沿 NW 及近 EW 向构造布置了大量 CSAMT(可控源音频大地电磁测深) [12]、AMT [13] [14]及 MT 法[15]电测深剖面，基本查明了该勘查区内近 EW 向后小河 - 张家葛湖断裂及 NW 向小官河—赵家葛湖两条构造的发育特征，物探布置图如图 2 所示。

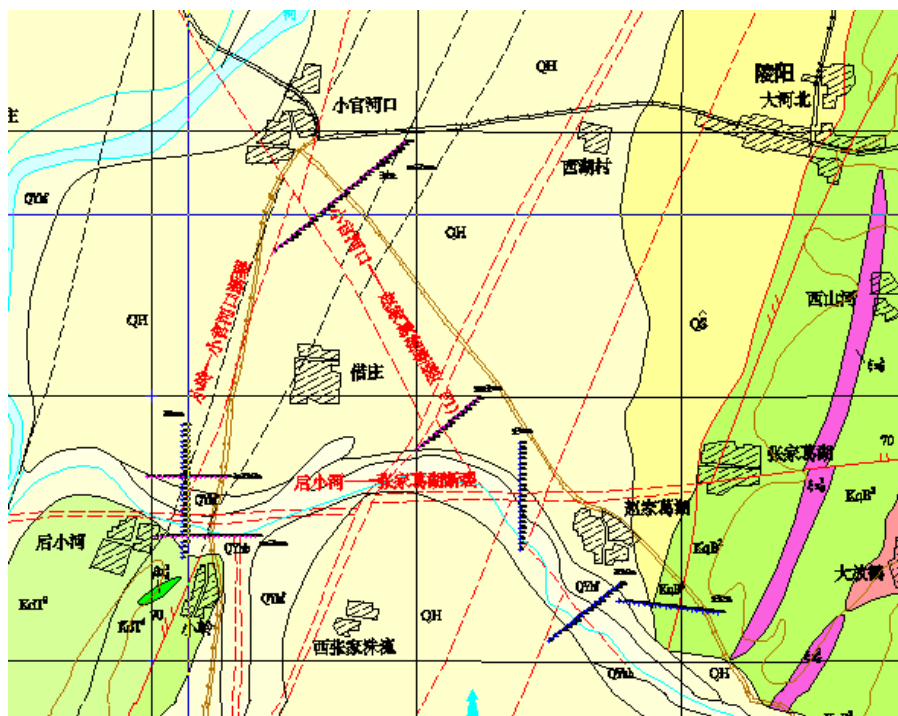


Figure 2. Geophysical profile layout of Lingyang exploration area  
图 2. 陵阳勘查区物探剖面布置图

#### ① 后小河 - 张家葛湖断裂

在本文工作中，沿该构造方向垂直布置了两条 AMT 剖面，用以查明这条近 EW 向复活构造的发育深度、宽度、倾向及倾角等构造特征。从 AMT-3 剖面视电阻率断面图(如图 3(a))可以看出，电阻率自上



而下逐渐变大,呈渐变关系,从等值线变化梯度分析,大致分为2个电性层,第一电性层电阻率值电阻率在 $10\sim 50\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间变化,根据区内地质资料电性特征分析,该低阻电性层为新生代第四系地层;第二电性层电阻率一般在 $60\sim 600\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间。根据区内地质资料分析,推断第二电性层应为中生代白垩系地层;从横向电性特征上看,在320点~720点之间,等值线同步向下弯曲,出现明显的低阻梯级带反应,440号点两侧电性差异明显,反映了两侧地层岩性的明显差异,呈典型的断层异常特征。因此,推断该异常为断层后小河—张家葛湖反应,断层向北倾,倾角为 $70^\circ$ 左右。从AMT-4剖面视电阻率断面图(如图3(b))可以看出,剖面的垂向上总体电阻率较低,自上而下电阻率由低到高变化不大,反映了其岩性变化较小,从等值线变化梯度分析,大致分为2个电性层,第一层为第四系覆盖层,电阻率值在 $10\ \Omega\cdot\text{m}\sim 50\ \Omega\cdot\text{m}$ ,从南向北逐渐变厚;第二电性层为白垩系田家楼组砂岩。从横向电性特征分析,在280号点~640点之间,出现一明显的低阻“V”字型异常,480号点电阻率明显降低,两侧无明显的电性变化,说明两侧地层岩性基本相同。因此,推断该断层为F5断层的反映,向北陡倾,无明显的垂直断距。综上AMT-3剖面,AMT-4剖面资料分析知,后小河—张家葛湖断裂走向为东西,向北倾,倾角在 $80^\circ$ 左右。

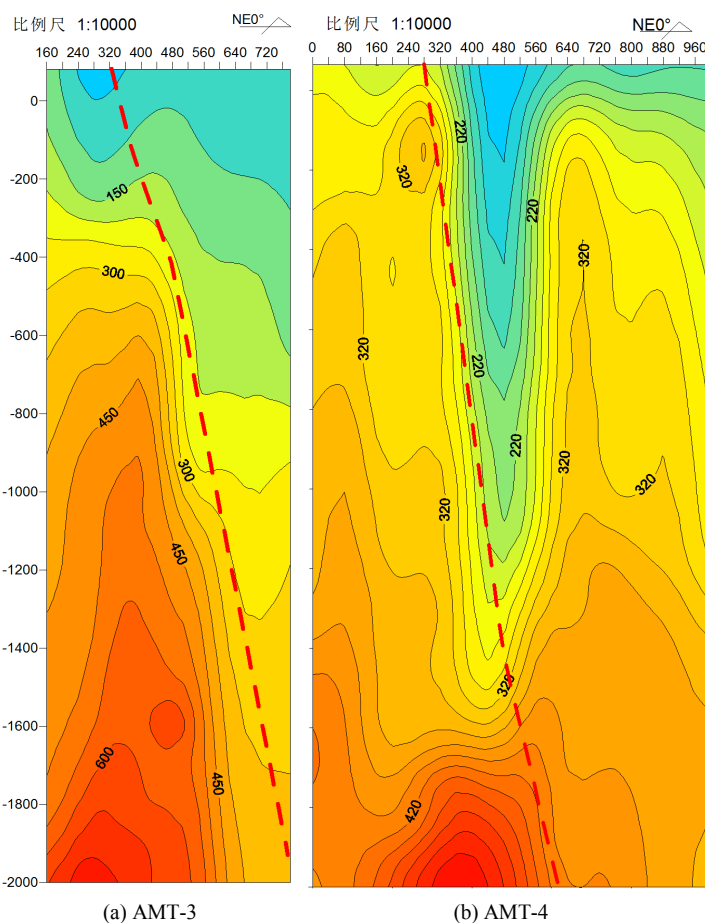


Figure 3. Houxiaohe-Zhangjiagehu fault  
图3. 后小河 - 张家葛湖断裂

## ② 小官河口 - 赵家葛湖断裂(F1)

该断裂向西北延伸至史家庄子,向东南方向到寨里河,长度达16 km,沿该构造方向垂直根据当地环境条件垂直构造(F1)分别布设了一条AMT测深剖面,两条CSAMT测深剖面,其中在小官河口沿

CSAMT-1 剖面布置了一条 MT 测深剖面对其进行了验证。从 CSAMT-1 视电阻率断面图(如图 4(a))上知,电阻自上而下逐渐增大,呈渐变关系,主要分为以下地层:近地表的低阻电性层,电阻率在  $10\sim 50\ \Omega\cdot\text{m}$ ,厚度在  $40\ \text{m}\sim 50\ \text{m}$  之间变化,根据区内地质资料电性特征分析,该低阻电性层为新生代第四系地层;第二电性层电阻率一般在  $50\sim 300\ \Omega\cdot\text{m}$  之间。根据区内地质资料分析,推断第二电性层应为中生代白垩系地层;从横向电性特征上看,在 320 点~1040 点之间,等值线同步向下弯曲,出现明显的低阻梯级带反应,640 号点电阻率明显降低,两侧电性差异明显,反映了两侧地层岩性的明显差异,呈典型的断层异常特征。因此,推断该异常为断层 F1 反应,断层向北东倾,倾角为  $70^\circ$  左右。

从 CSAMT-2 剖面视电阻率断面图(如图 4(b))可以看出,该剖面的整体电性特征与 CSAMT-1 剖面的基本一致,基底层反映清晰,各电性层界面反映明显,断层特征及倾向与 CSAMT-1 剖面基本相同。在 160 号点~440 号点出现一明显的低阻梯级带,280 点电阻率明显降低,两侧电性差异明显,对应两侧的岩性具有明显的差异,呈典型的断层异常特征。因此,推断该异常为断层 F1 的反应,倾向为北东倾,倾角为  $70^\circ$  左右。

从 AMT-2 剖面视电阻率断面图(如图 4(c))上可以看出,该剖面的整体电性变化大,从其电性特征分析,在 160 号点附近,存在明显的低阻梯级带断层异常电性特征,断层梯级带异常反映清晰,断层两侧电性差异较大,与上述剖面推断的 F1 断层在产状上相似,倾向为北东,倾角为  $70^\circ$  左右。由于 CSAMT 受深度的影响,断裂带在深部的展布特征反应不是太明显,又布设一条 MT-1 剖面,对断裂带在深部的变化特征进行进一步研究,其中 MT-1 剖面与 CSAMT-1 剖面位置相同,从 MT-1 剖面视电阻率断面图(如图 4(d))上知,电阻率自上而下逐渐增大,电性层界面反映明显,上部低阻为新生代第四系松散层,下部高阻为中生代白垩系八亩地组地层。从其横向电性特征分析,在 320 点~1040 点出现一明显的低阻梯级带,640 点电阻率明显降低,其两侧电性差异明显,两侧地层岩性具有明显差异,该断层为断裂带 F1 的反应。从上述地电断面资料显示,F1 断裂发育深度大,在走向及倾向上,反应连续稳定。走向北西,倾向北东,倾角  $70^\circ$  左右。

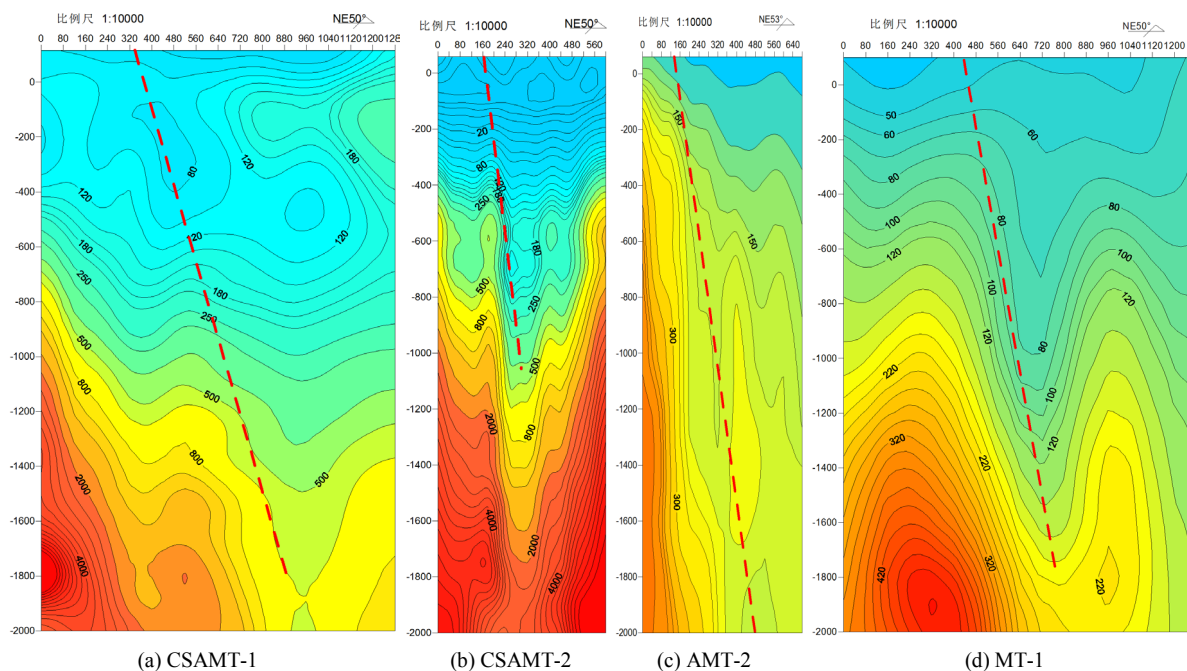


Figure 4. Xiaoguanhekou-Zhaojiagehu fault  
图 4. 小官河口 - 赵家葛湖断裂

### 3.2. 店子集勘查区

在水文地质的基础上，本勘查区的物探重点放在略庄 - 于家石河断裂(F2)上，以期查明区内北西向展布的主要断裂 F2 的实地展布位置、走向及产状，研究其深部发育情况。按水文地质的要求，垂直断裂带走向布设了物探剖面 5 条，AMT-1 剖面位于略庄村边、AMT-2 剖面位于姜庄村东，AMT-3 剖面位于高家沟东边，AMT-4 剖面位于于家石河北。物探布置图如图 5 所示。

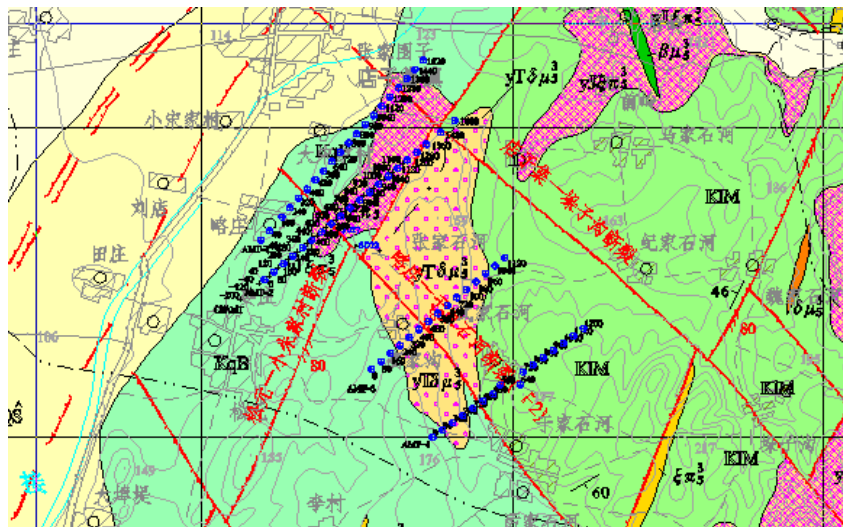


Figure 5. Geophysical profile layout of dianzi exploration area

图 5. 店子集勘查区物探剖面布置图

从 AMT-1 剖面视电阻率等值线图(如图 6(a))上可以看出，该剖面的整体电性特征变化大，从其电性特征分析，电阻率从上而下逐渐增大，横向上以 520 点为岩性界面，以北为高阻地质体，以南为低阻地质体，高阻岩体从下而上，上侵入低阻岩体中，在两种不同电性层的接触面附近存在一明显的低阻“U”字形异常，其异常特征为典型的断层特征，推断断层为 F2，地表对应位置为 520 点，倾向为南西，倾角为 70°，其高阻岩体对应为燕山晚期正长斑岩，低阻岩体对应为白垩系八亩地组安山角砾岩。在该剖面的北部 1160 点附近，也存在一低阻“U”字形异常，推断断层为店子集—垛子沟断裂，向北东陡倾。

如图 6(b)所示，AMT-2 剖面的整体电性特征与 AMT-1 剖面的基本一致，各电性层界面反映明显，断层特征及倾向与 AMT-1 剖面基本相同。按照 1 剖面的分析原则推断，低阻电性层对应为白垩系八亩地组安山角砾岩，高阻电性层对应为燕山晚期正长斑岩，该剖面整体电阻率较 1 剖面偏高，分析认为，与两条剖面所处的地质环境有关，AMT-1 剖面位于该工区多条次级小断裂带的影响范围之内，因此其电阻率偏低。

从 AMT-3 剖面视电阻率断面等值线图(如图 6(c))可以看出，该断面在纵向上电阻率从上到下逐渐增大，整体呈浅部低阻，底部高阻的电性特征。从断面的横向电性特征分析，在 320 号测点为界，以北为高阻地质体，以南为低阻地质体，出现一明显的高低阻岩性界面，从异常特征反映，为典型的断层反映。断层上盘为低阻电性层，断层下盘为相对高阻电性层，上盘下盘电性差异明显，推断为两种不同岩性所致。断层倾向北东，倾角 70°，该断层地表位于 320 测点附近该断裂与区内先前的 F2 吻合。

由 AMT-4 剖面等值线图(如图 6(d))所示，该剖面电阻率自上而下逐渐增大，该断面在纵向上整体上主要分为上下两种电性地层：浅部由第四系松散层及风化带组成的低阻地层；底部为基底高阻层。从断面的横向电性特征分析，在点号 80~640 之间等值线呈明显的地“V”字型低阻异常，且同步向下弯曲，

断层异常特征反映较明显，与先前已推断断裂 F1 一致。从断面异常特征分析，该断层在地表位于该剖面的 560 号测点附近，向南西倾。

在 AMT-2 剖面线上同样施工了 CSAMT 法，并且向南延伸了 240 米，剖面总长度 1.16 km，从 CSAMT 剖面视电阻率断面图(如图 6(e))上分析得，该剖面的整体电性特征变化较大，从其电性特征分析，以 520 点为界，以南为低阻地质体，对应为白垩系八亩地组安山角砾岩，以北为高阻地质体，对应为燕山晚期正长斑岩，在两种不同电性层的接触界面附近存在一明显的低阻异常，该异常为典型的断裂带反应。断裂带两侧电性差异明显，与 AMT-2 剖面验证的 F2 断裂对应吻合。

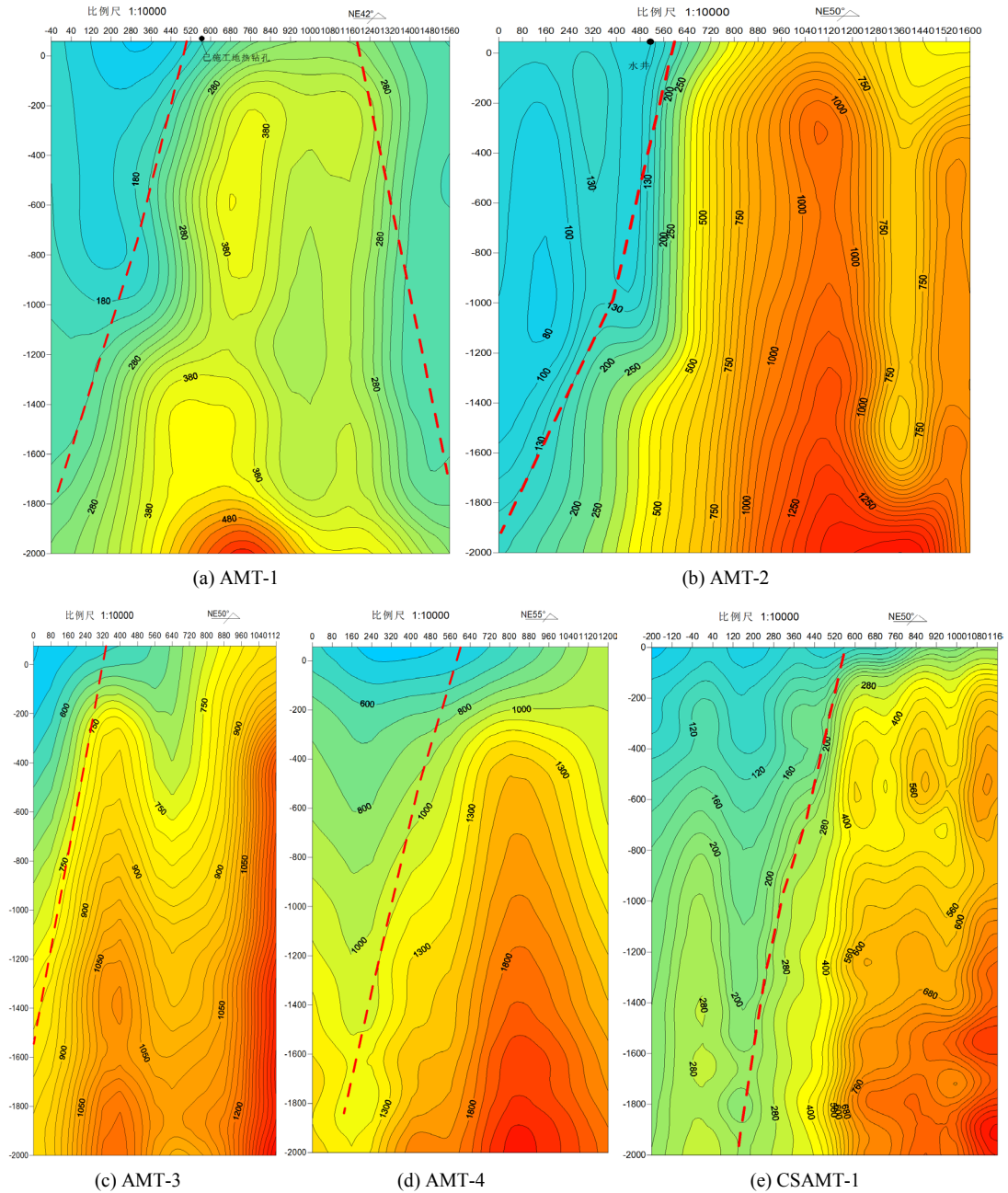


Figure 6. Exploration area  
图 6. 店子集勘查区



### 3.3. 碁山勘查区

碁山勘查区位于安丘 - 莒县断裂带内, 区内主要发育数条 NE 断裂, 构造性质大多以张扭性断裂为主, 主为进一步这些构造的发育特征, 共布置了 7 条剖面线, 其中施工 AMT 剖面 3 条, AMT-1 剖面位于青云庵村东北方向, AMT-2 剖面位于赵家庄子村东北方向, AMT-3 剖面位于西上庄村东南方向; 布设 4 条 CSAMT 剖面: CSAMT-1 剖面位于 AMT-2 剖面南边, CSAMT-4 剖面位于珠山村东北, CSAMT-2, CSAMT-3 剖面位于珠山村东南。物探布置图如图 7 所示。

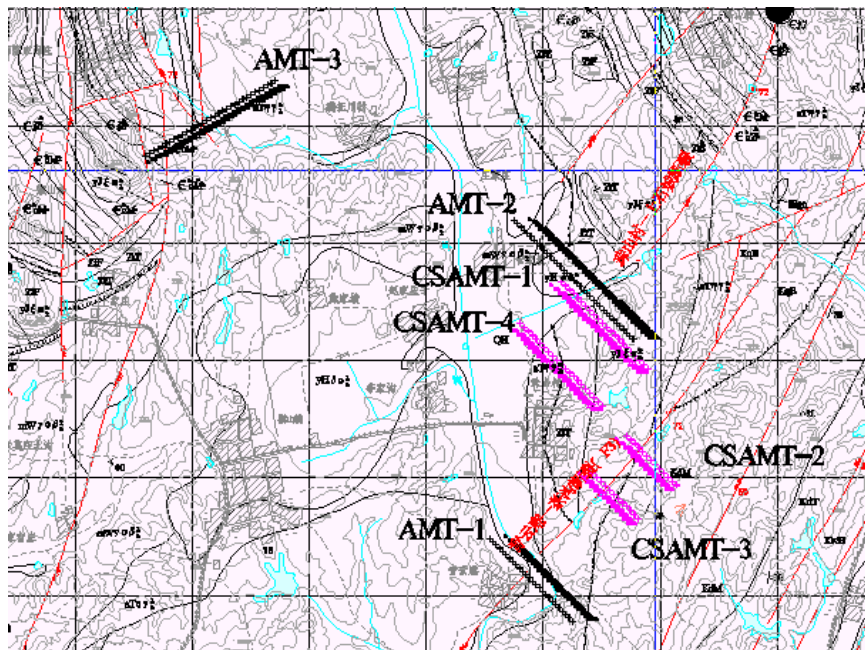


Figure 7. Geophysical profile layout of Qishan exploration area  
图 7. 碁山勘查区物探剖面布置图

为查明西尚庄附近构造特征, 由 AMT-3 剖面视电阻率断面图(如图 8)可以看出, 该剖面的整体电性特征变化大, 从其电性特征分析, 以 160 号点为点位界, 以北为高阻地质体。

#### ① 珠山村 - 上石城村断裂

为查明管家坡附近 NE 向珠山村 - 上石城村断裂构造特征, 在此处沿 NE 向布置了一条 AMT 剖面、两条 CSAMT 剖面。由 AMT-2 剖面视电阻率断面图(如图 9(a))可以看出, 该剖面的整体电性特征变化大, 从其电性特征分析, 以 960 号点为点位界, 以北为高阻地质体, 以南为相对低阻地质体, 在两种不同电性层的接触面附近有一明显的低阻梯级异常, 推断该异常为断层, 断层向东南倾, 倾角在  $85^{\circ}$  左右。在该剖面的北部 200 点~480 点之间亦存在一明显的“V”字型低阻异常, 其异常特征为典型断层特征, 推断为珠山村 - 上石城村断裂, 根据异常特征分析, 断层向东南陡倾。根据该剖面的电性特征和地质特征, 综合分析推断该剖 240 号点以北为细粒黑云二长花岗岩, 以南为正长斑岩。

为了更好的控制断裂带珠山村 - 上石城村断裂的产状, 又在 AMT-2 剖面南侧布设两条 CSAMT 剖面。分别为 CSAMT-1 剖面, CSAMT-4 剖面。从 CSAMT-1 剖面的视电阻率断面图(如图 9(a))可以看出, 电阻率自上而下逐渐增大, 呈渐变关系, 在 300 点~650 点, 等值线同步向下弯曲, 形成一明显的低阻异常带, 该异常带为断层珠山村 - 上石城村断裂的反映, 异常带两侧岩体电性无明显差异, 断裂带发育于岩体中, 断裂带向东南陡倾。从 CSAMT-4 剖面视电阻率断面图(如图 9(a))可以看出, 该剖面的整体电性特征与

CSAMT-1 剖面的基本一致, 基底层反映清晰, 各电性层界面反映明显, 断层特征及倾向与 1 剖面基本相同。在 200 点~600 点出现一明显的“V”字型低阻异常带, 400 点电阻率明显降低, 两侧电性无明显差异, 对应两侧的地层相同。因此, 推断该异常为珠山村 - 上石城村断裂的反应, 倾向为东南陡倾。从 AMT-2, CSAMT-1, CSAMT-4 剖面资料分析知, 珠山村 - 上石城村断裂断裂带各剖面控制反映较好, 能够很好的反映出断裂带的产状, 反应连续稳定, 断裂带为北东走向, 向东南陡倾。

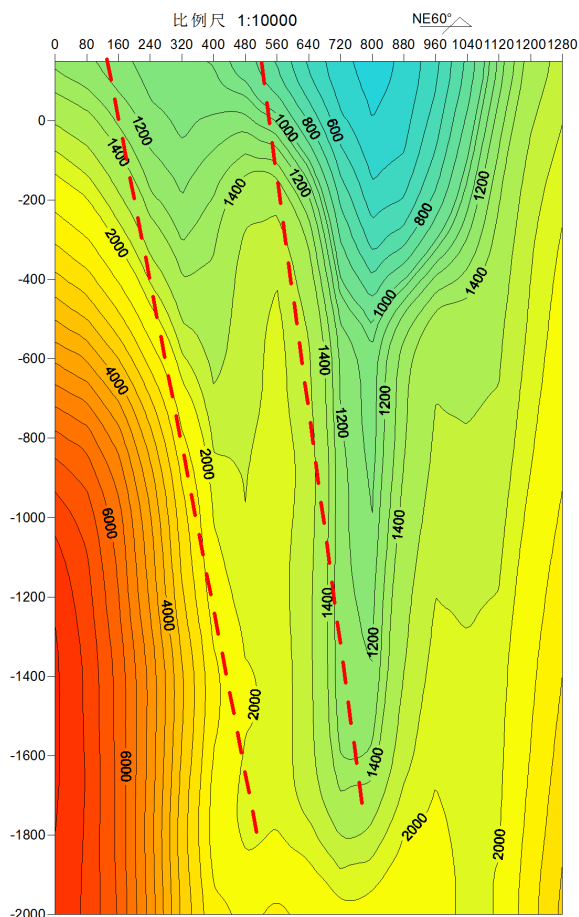


Figure 8. AMT-3 in Qishan exploration area  
图 8. 碁山勘查区 AMT-3

### ② 青云庵 - 茶沟断裂(F3)

为查明青云庵 - 茶沟断裂(F3)的构造性质, 在青云庵村东北及珠山村西布置了一条 AMT 测深剖面及两条 CSAMT 剖面, 由 AMT-1 剖面视电阻率等值线断面图(如图 10(a))可以看出, 该剖面的整体电性特征变化大, 从其电性特征分析, 以 440 号点为岩性界面, 两种不同岩性且电性差异明显的接触界面, 两种岩性呈不整合接触特征。以北为高阻地质体, 对应为太古界林官庄岩组斜长角闪岩, 以南为低阻地质体, 对应为中生界白垩系八亩地层安山质角砾岩。两种不同岩性的接触面附近有一明显的低阻“U”字形异常, 其异常特征为典型的断层特征。据此推断该异常为青云庵 - 茶沟断裂(F3)的显示, 据其异常特征分析, 断层向南东陡倾。

由 CSAMT-2 视电阻率断面图(如图 10(b))上知, 电阻率自上而下逐渐增大, 呈渐变关系, 主要分为以下地层: 从横向电性特征上看, 在 50 点~350 点之间, 等值线同步向下弯曲, 出现明显的低阻梯级带

反应，250 号点电阻率明显降低，两侧电性差异明显，反映了两侧地层岩性的明显差异，呈典型的断层异常特征，断层北侧为中粒二长花岗岩，南侧为白垩系马郎沟组砂砾岩。该异常为青云庵 - 茶沟断裂(F3)反应，断层向南东陡倾。

从 CSAMT-3 剖面视电阻率断面图(如图 10(c))可以看出，该剖面的整体电性特征与 CSAMT-1 剖面的基本一致，各电性层界面反映明显，断层特征及倾向与 1 剖面基本相同。在 50 号点~350 号点出现一明显的低阻梯级带，200 点电阻率明显降低，两侧电性差异明显，对应两侧的岩性具有明显的差异，呈典型的断层异常特征。因此，推断该异常青云庵 - 茶沟断裂(F3)的反应，倾向为南东陡倾。

通过 AMT-1, CSAMT-2, CSAMT-3 三条剖面资料分析可以看出，青云庵 - 茶沟断裂(F3)断裂发育深度大，断裂带两侧地层反映良好，在走向及倾向上，反应连续稳定。走向北东，南东陡倾。

#### 4. 调查区测温钻孔的布置及数据分析

##### 4.1. 布置原则

根据构造型地热成矿原则，应充分研究分析控制或影响地热资源分布的主要断裂构造的形态、规模、产状、力学性质及其组合关系。首先选择在规模较大、有足够大的发育深度的主断裂或在其两侧与之相交的断层、性质以张性、张扭性为主的次级断裂的交汇部位，这类构造类型在沟通地下热源方面具有良好作用，同时具有良好导水及富水性，构造破碎带上部地层、风化破碎带构成了较好的盖层，这样就具备了地热形成的四大要素。在测温钻及地热井的布置上，依据构造的发育特征及热储的埋藏深度，宜在断裂交汇部位及主要控热断裂构造的上盘并沿断裂构造延伸方向布置井位。

按照上述原则，分别在店子集 CSAMT 剖面 280 点、物探剖面陵阳 MT-1 剖面 600 点、碁山 CSAMT-3 剖面 175 点布置施工了三个测温钻孔(如图 11 所示)。

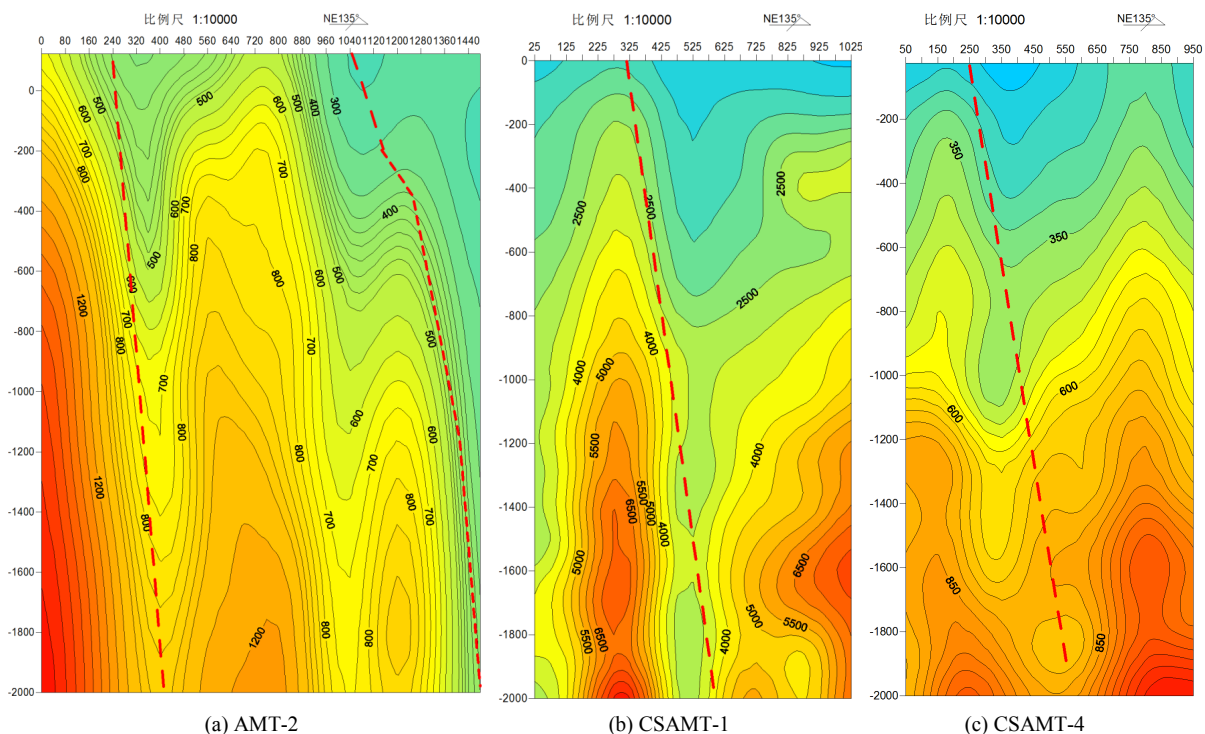


Figure 9. Zhushan village shangshicheng village fault  
图 9. 珠山村 - 上石城村断裂

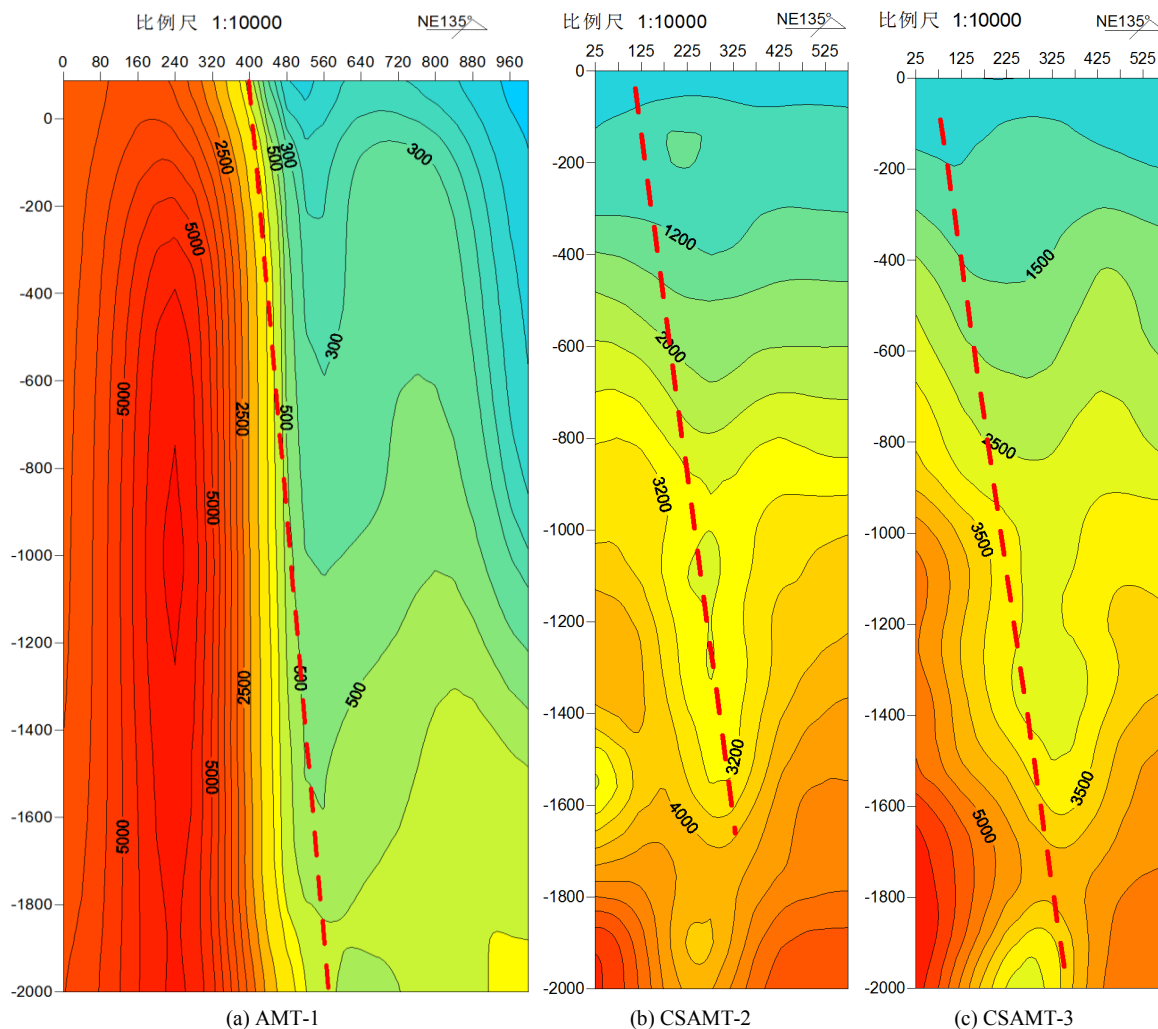


Figure 10. Qingyuanan Chagou fault  
图 10. 青云庵 - 茶沟断裂

## 4.2. 数据分析

店子集勘查区测温钻孔 ZK1: 施工深度 270 m, 由于岩粉沉淀, 实际测温深度为 260 m, 涌水量 1700 m<sup>3</sup>/d, 孔底温度 19.3℃, 但自 240 m 至 260 m 之间的 20 m 水温从 15.8℃增加至 19.3℃, 增温 3.5℃, 增温效果极其明显。

陵阳勘查区测温钻孔 ZK2: 施工深度 138 m, 实际测温深度为 138 m, 涌水量 600 m<sup>3</sup>/d, 孔底温度 18.8℃, 增温率 3.5℃/100m。

碁山勘查区测温钻孔 ZK3: 施工深度 185 m, 实际测温深度为 185 m, 涌水量 900 m<sup>3</sup>/d, 孔底温度 19.5℃, 增温率 2.97℃/100m。

## 5. 地热井位置建议

依据地热地质调查、物探、测温钻孔测温等资料综合分析研究, 本文认为根据地热井设计深度可在陵阳勘查区 CSAMT-1 剖面 800 点左右, 设计深度应在 1800 m 左右; 店子集 CSAMT 剖面 200 点, 碁山 AMT-1 剖面 480 至 560 点之间靠近 560 点位置实施地热井钻探, 设计深度 2000 m, 如图 12 所示。



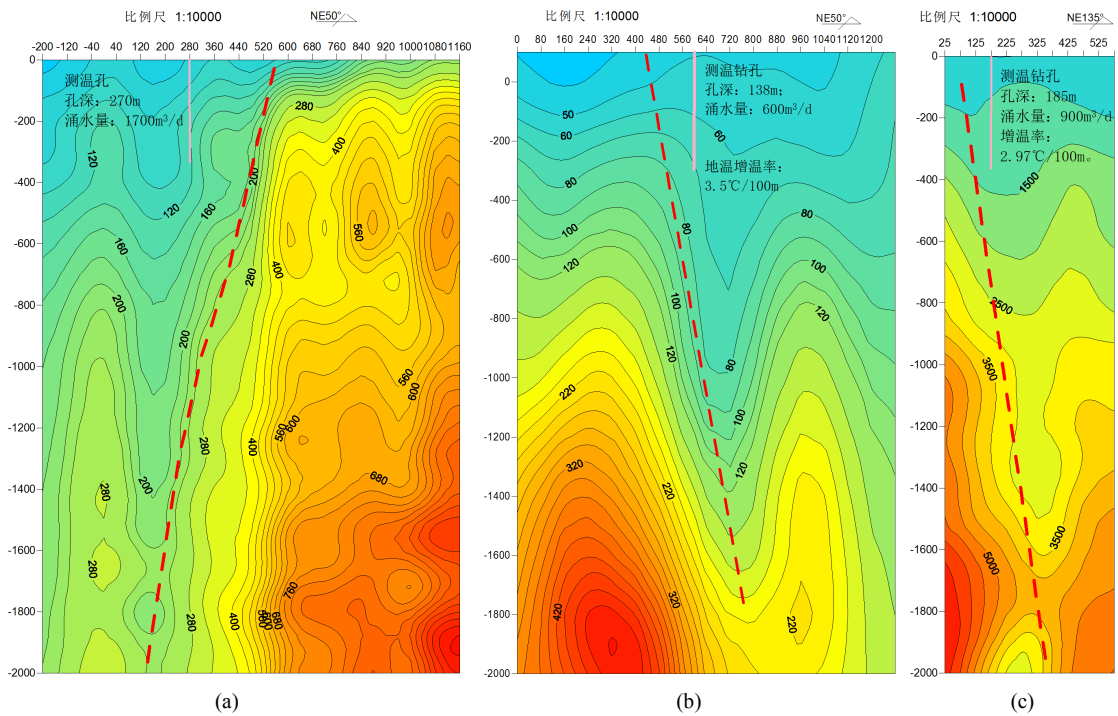


Figure 11. Qingyuanan Chagou fault. (a) Dianziji, (b) Lingyang, (c) Qishan  
 图 11. 青云庵 - 茶沟断裂; (a) 店子集, (b) 陵阳, (c) 碁山

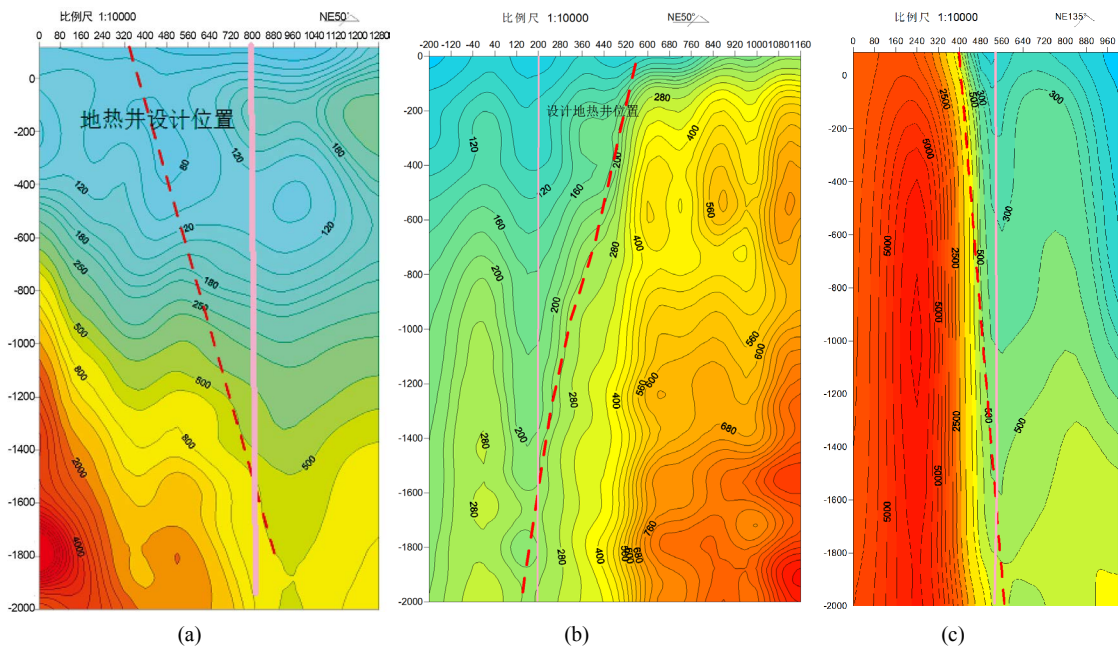


Figure 12. Suggested design location of geothermal wells in the survey area; (a) Dianziji, (b) Lingyang, (c) Qishan  
 图 12. 调查区地热井设计位置建议图; (a) 店子集, (b) 陵阳, (c) 碁山

## 6. 结论

开发地热资源不仅可以加快当地地方经济的发展，而且能带动旅游业的兴旺。为对莒县县城东部周边地热资源勘查前景做出量化评价，本文通过水文地质调查、电阻率联合剖面、视电阻率激电测深、EH-4

电磁测深、测温钻孔等多参数融合实现调查区域量化的地热资源评价分析研究,从而为地热找矿提供数据支持。首先,本文通过地面的地热地质调查基本查明调查区内构造分布,通过视电阻率联合剖面、视电阻率激电测深大致查明了构造的具体位置及浅部发育特征,进而通过 EH-4 电磁测深查明 1000 m 以浅的构造特征,在上述基础上投入大量的 CSAMT、AMT 及 MT 物探工作,查明调查区内成热条件较好的 F1~F3 构造破碎带 2000 m 以浅的构造特征,为测温钻孔的定位及其后施工地热井的具体位置提供了充分的地质依据;其次,通过地质调查及测温钻孔数据分析表明:尤其是略庄地区的测温孔(ZK1)自 240 m 至 260 m 之间的 20 m 水温从 15.8℃增加至 19.3℃,增温 3.5℃,说明浅部含水层富水性、透水性好,地下水循环快,热量损失大,因此水温较低,而深部地下水循环慢且靠热储层近,因此增温较快;陵阳小官河口测温孔地温梯度 3.5℃/100m;碁山镇珠山村测温孔地温梯度为 2.97℃/100m,三处地热异常非常明显。最后综合分析地质调查及测温数据得:店子集略庄地区在 CSAMT-1 线第 200 点附近,此地段构造发育深度达 2000 m 以上,宽度超过 200 m,倾向 SW,倾角 75°,富水性强,增温率好,具备成热成矿条件;陵阳小官河地区在 CSAMT-1 线第 800 点附近,此处构造发育深度大于 1800 m,倾向 NE,倾角 75°左右,富水性强,增温率 3.5℃/100m,成热成矿条件较好;碁山镇珠山村地区,AMT-1 线 480 至 560 点之间靠近 560 点构造发育深度 2000 m,宽度超过 200 m,倾向 SW,倾角 85°左右,富水性强,增温率 2.97℃/100m,具有较好的成热成矿条件。基于上述数据,本文建议在略庄 CSAMT-1 线第 200 点附近实施地热井钻探,设计孔深 2000 m,预计水温大于 50℃以上,水量大于 2000 m<sup>3</sup>/d。这为调查区地热资源的合理开发利用提供具体的数字指导建议,具有重要的实际应用前景。

## 参考文献

- [1] 陈迎辉. 山间盆地双层结构地热田资源计算方法探讨[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(1): 96-99.
- [2] 朱丽丽, 左焕成, 龚旭, 李功振. 音频大地电磁法在泸沽湖地区地热勘查中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2020, 35(4): 468-473.
- [3] 杨学明, 雷清, 聂冀强, 李世斌, 王身龙. 太行拱断束地热资源调查评价基于大地电磁测深结果的分析[J]. 西北地质, 2020, 53(4): 235-245.
- [4] 王贵玲, 刘彦广, 朱喜, 张薇. 中国地热资源现状及发展趋势[J]. 地学前缘, 2020, 27(1): 1-9.
- [5] 何治亮, 冯建赞, 张英, 李朋威. 试论中国地热单元分级分类评价体系[J]. 地学前缘, 2017, 24(3): 168-179. <http://dx.chinadoi.cn/10.13745/j.esf.2017.03.015>
- [6] 邓波, 龙惟定. 中深层地热资源合理开发利用现状综述[J]. 环境工程, 2019(37): 309-315.
- [7] Simmons, S.F. (2020) Geothermal Resources. In: Elias, S. and Alderton, D., Eds., *Encyclopedia of Geology*, 2nd Edition, Academic Press, Cambridge, 708-722.
- [8] 景晓东, 冷旭勇, 刘连, 吴波, 柳耀君, 崔素. 山东莒县龙王庙富水块段陡倾灰岩地层富水性研究[J]. 山东国土资源, 2020, 36(10): 52-57.
- [9] 计量. 山东莒县地下水水源地脆弱性评价与保护区划分[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [10] 侯建华, 任天龙, 朱学强, 黄永波, 杨仕鹏, 秦杰. 安丘-莒县断裂北段构造特征研究[J]. 山东国土资源, 2016, 36(6): 1-8.
- [11] 赵振华, 曲为贵, 刘仕刚, 刘钧沅, 管然浩, 孔祥栋. EH-4 电磁测量与时域激电测深测量在金属矿勘探中的应用效果对比[J]. 矿产勘查, 2016, 7(5): 820-824. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1674-7801.2016.05.017>
- [12] 岳想平, 彭小珂, 韩埃洋. CSAMT 在水文地质勘查中的应用[J]. 地下水, 2020, 42(6): 102-105.
- [13] 邱杰, 陈波, 曾宥元. 音频大地电磁测深法(AMT)在某彝族自治县地热水资源勘探中的应用[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(11): 192-193.
- [14] 陈大磊, 于嘉宾, 王阳, 张超, 杨本固. 音频大地电磁测量法(AMT)在莒县地区地热勘查中的应用[J]. 山东国土资源, 2016, 32(12): 58-61.
- [15] 曹学刚, 程国强, 李龙亮. MT 法在银川平原黄河东岸地热资源调查评价中的应用[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(1): 141-144.