

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

杨本固, 朱伟

山东省第八地质矿产勘查院, 山东日照, 276800

内容提要:为实现沂沭断裂带五莲至莒县段地热资源的有效调查, 本文首先以浅层测温方法为主、可控源物探测量为辅, 确定被调查区域存在管帅—北店、东沟头、赵家葛湖三个地热异常区, 并对其热储模型进行研究分析; 其次对异常区流体化学特征进行相应水质测量评价; 最后计算地热异常区地热储量。水质测量评价显示被调查区域地热异常区含多种对人身有益的微量元素, 是具有重要理疗保健价值的地下热水, 除取暖外可用于洗浴和疗养的目的; 地热储量计算结果显示: 管帅—北店、东沟头、赵家葛湖三个异常区分别可采相当于 74.7、10.4、30.68 万吨标准煤的产热量, 地热异常区的热储存量较丰富。这对于实现被调查区域地热资源的合理、持续开采利用提供了数值化的建议, 对于我国其他区域地热资源的开采利用具有一定的参照价值。

关键词: 五莲至莒县段; 地热异常区; 热储模型; 水质测量; 地热储量

能源和环境是当今人类面临的两大问题, 尤其随着煤炭、石油、天然气等能源的日益枯竭, 可再生能源得到人民广泛的关注和发展(Gong Xiaoling et al., 2018)。地热能作为一种可再生的(如果热量提取的速度不超过补充的速度, 那么地热能便是可再生的)新型清洁能源, 在工业、农业及人民日常生活中得到广泛的应用(Zhang Zheng et al., 2013; 陈丹薇, 2016; 李刚, 2019)。但随着地热资源开采井数和开采量的不断增加, 且长期只采不灌, 使得部分地区热储层水位快速下降, 形成了较大范围的降落漏斗, 漏斗中心区的地热水井出现了不能连续供水的情况(张海娇, 2019)。因此, 区域地热资源的有效调查对于实现地热资源的合理、持续利用, 促进生态可持续发展具有重要意义(涂明江, 2019)。目前, 探寻地热异常区的方法多种多样, 浅层测温与地质填图、水文地球化学及地球物理勘探等方法配合使用, 效果会更好(Liang Hongwe, 2018)。为实现沂沭断裂带五莲至莒县段地热资源的有效调查, 本文首先以浅层测温方法为主、可控源物探测量为辅, 确定地热异常区, 并对其热储模型进行研究分析; 其次

对异常区流体化学特征进行相应水质测量评价; 最后计算地热异常区地热储量并给出地热资源开采方案。这对于实现该区域地热资源的合理、持续开采利用提供了数值化的建议, 也为我国其他区域地热资源的生态可持续利用提供了重要的参考价值。

1 调查区地质概况

本文所涉及调查区位于沂沭断裂带安丘—莒县与昌邑—大店断裂之间形成的地堑内, 大部分属沭河流域, 仅在在北部管帅—汪湖一带属淮河流域(Luo Wenqiang et al., 2018)。沂沭断裂带在多期活动中, 主断面表现出不同的力学性质, 先期的张性活动, 形成了宽大的断裂破碎带, 并引发了中生代白垩纪火山喷发和断陷沉积。中生代是沂沭断裂带地质发展史上重要的转折时期, 由于沂沭裂谷活动的加剧, 伴有少量闪长玢岩沿断裂侵位, 同时引发了火山活动, 形成大面积的安山岩覆盖。到晚白垩世活动趋向停止。新生代第三纪以来又表现为强烈的挤压, 形成一系列压性构造, 主断面为压扭性力学性质, 其水文地质性质表现为既阻水又隔热。

注: 本文为山东省地质矿产勘查开发局 2011 年度水工环地质勘查项目(鲁地字[2011]85 号文)资助的成果。

收稿日期: 2019-08-09; 改回日期: 2019-09-19; 责任编辑: 李曼。

作者简介: 杨本固, 男, 1987 年生。工程师, 主要从事水工环地质及地热地质研究工作, Email: 327830839@qq.com。通讯作者: 朱伟, 男, 1980 年生。山东省第八地质矿产勘查院, Email: 1804988594@qq.com。

引用本文: 杨本固, 朱伟. 2019. 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. 地质学报, 93(s1): 192~196, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019227.
Yang Bengu, Zhu Wei. 2019. Thermal reservoir model of geothermal abnormal area in the Wulian-Juxian section of Yishu fault zone. Acta Geologica Sinica, 93(s1): 192~196.

2 地热异常区的划分

按地温变化规律,自地表往下大体可分为三个带:地温变动带、恒温带和增温带。在地温变动带,地温受气象、水文及人为等因素的影响而发生周期性的日变化、年变化;恒温带又称恒温层,其地温基本上是恒定的,基本不受气象、水文等因素和地球内部热源的影响;增温带位于恒温层以下,地温主要受地球内部热源的影响,呈随深度增加而逐步增大的趋势,故称增温带。据我国华北地区地热研究资料,恒温层所取深度为 25m 左右。地温梯度所反映的是恒温层(25m)以下的地温变化规律及增温强度,其计算公式为:

$$\Delta t/\Delta h = (T - t)/(H - h) \tag{1}$$

式(1)中, $\Delta t/\Delta h$ —地温梯度(℃/m,通常用℃/100m); H —测温截止深度或计算终止深度(m); h —恒温层深度或计算起始深度(m); T — H 处地温(℃); t — h 处地温(℃)。

根据我国华北地区地热正常区的地温梯度一般在 3℃/100m 以下,并结合有关规范的要求,将地温梯度 3℃/100m 等值线作为调查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(Zhang Yong et al., 2014)。除地温梯度外,本文亦采用可控源物探测量方式来确定被调查区域的地热异常区。

3 异常区热储模型的建立

通过对被调查区域的地温进行测量并计算地温梯度,本文发现管帅—北店(编号 1)、东沟头(编号 2)、赵家葛湖(编号 3)三个地热异常区。下面以管帅—北店为例说明其地热异常区热储模型的构建过程。

管帅—北店地热异常区位于管帅镇驻地北侧,其中心位于管帅镇驻地及北店一带,位于北东向昌邑—大店断裂与物探控制的北西向 F1 断裂及其它北西向断裂交汇处,在浅层测温中发现其地温梯度普遍高于 3℃/100m,区内地温梯度为 3.07~7℃/100m,异常区面积约为 4.79km²,如图 1 所示。

管帅—北店地热异常区位于北东向昌邑—大店断裂与物探控制的北西向 F1 断裂交汇处,昌邑—大店断裂管帅段,走向北东 20°,倾向南东,倾角 80°,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。采用可控源物探测量, F1 断裂为一条隐伏构造,走向 305°,上部近直立,下

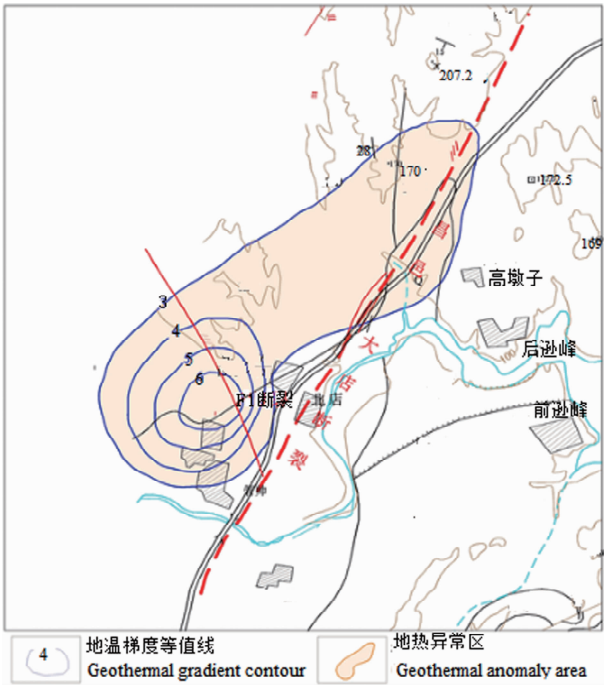


图 1 五莲段地热调查区地温梯度等值线图
Fig. 1 Contour map of geothermal gradient in Wulian section

部倾向北东,倾角 80°,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,即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,进而对该地热异常区热储模型分析如下:

- (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。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 2 所示。

进而,本文对东沟头、赵家葛湖地热异常区热储模型进行分析,如图 3 所示。两处地热异常区属典型的断控半封闭型热储,沿构造破碎带在东南部山

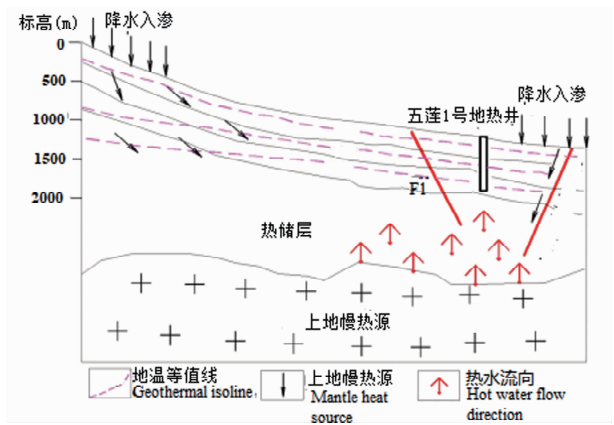


图 2 管帅—北店地热异常区热储概念模型
Fig. 2 Ruanshui-Beidian conceptual model of heat storage in geothermal anomaly area

区接受大气降水及地表水入渗补给,沿断裂破碎带向深部运移加热形成地热水。

4 异常区流体化学特征及评价

为合理评价调查区域地热价值,本文对调查区地热水化学成份进行分析评价。按照国家理疗热矿水标准要求(GB11615—2010),地热异常区地下热水可命名为温热水,其与理疗热矿水标准对比情况见,如表 1 所示。

从表 1 中可以看出,地热水中有理疗价值的微量元素氟(F),已达到有理疗价值矿水命名浓度,为有理疗价值的氟矿水,锂(Li)含量已达到有理疗价值及矿水浓度,偏硅酸(H₂SiO₃)、偏硼酸(HBO₂)含量已达到有理疗价值及矿水浓度,放射性元素氡

(Rn)含量达到有理疗价值及矿水浓度,锶(Sr)含量已接近有理疗价值及矿水浓度。总之,地热异常区地下热水中含多种对人身有益的微量元素,是具有重要理疗保健价值的地下热水。

表 1 地热水有理疗价值达标情况一览表
Table 1 Physiotherapy values of geothermal water

成份	标准(mg/L)	编号 1(mg/L)	编号 2(mg/L)	编号 3(mg/L)
锂(Li)	1	1	5	2.15
锶(Sr)	10	10	10	8.28
氟(F)	1	1	2	3.30
溴(Br)	5	5	25	1.10
碘(I)	1	1	5	0.18
氡(Rn)	37	47.14	129.5	120
偏硅酸	25	25	50	32.72
偏硼酸	1.2	5	50	19.54

5 异常区地热资源量的计算与评价

按地热资源地质勘查规范(GB11615—2010)提出的地热储量计算原则,同时参照原地矿部标准DZ40 的计算方法和要求,并结合调查区的具体情况,对地热资源量进行估算和评价。用热储法计算地热资源量(任国澄, 2015),其公式为:

$$Q = Q_r + Q_w \tag{2}$$

式中:Q 为热储中储存的热量(J);Q_r 为岩石中储存的热量(J);Q_w 为水中储存的热量(J)。

进而,热量的计算公式为:

$$Q_r = Ad\rho_r c_r (1 - \varphi)(t_r - t_0) \tag{3}$$

$$Q_L = Q_1 + Q_2 \tag{4}$$

$$Q_1 = A\varphi d \tag{5}$$

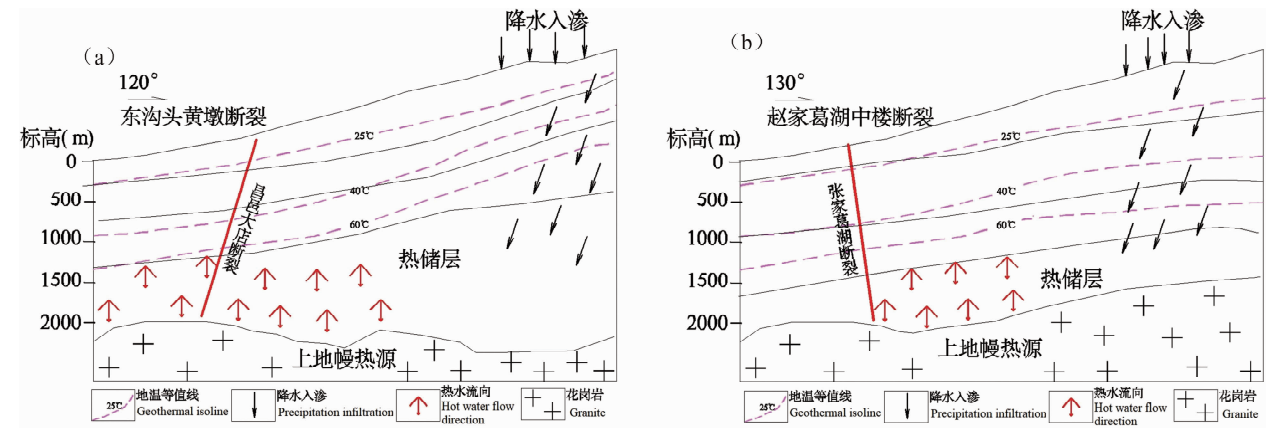


图 3 地热异常区概念模型
Fig. 3 Conceptual model of geothermal anomaly zone
(a)—东沟头;(b)—赵家葛湖
(a)—Donggou head;(b)—Zhaojiage lake

$$Q_2 = ASH \tag{6}$$

$$Q_w = Q_L c_w \rho_w (t_r - t_0) \tag{7}$$

式中: A 为计算区面积(m^2); d 为热储厚度(m); ρ_r 为热储岩石密度(kg/m^3); c_r 为热储岩石比热($\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$); φ 为热储岩石的空隙度,无量纲; t_r 为热储温度($^\circ\text{C}$); t_0 为当地年平均气温($^\circ\text{C}$); ρ_w 为地热水密度(kg/m^3); S 为弹性释水系数,无量纲; H 为计算起始点以上高度(m); c_w 为水的比热($\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)。

三个地热异常区的地热资源量计算参数如表 2 所示。

表 2 地热异常区计算参数一览表

Table 2 Calculation parameters of geothermal anomaly areas

编号	$A(10^6)$	d	ρ_r	c_r	φ
1	4.79	200	2600	878	0.15
2	1.40	100	2600	878	0.15
3	0.87	700	2600	878	0.15
编号	t_r	t_0	ρ_w	H	C_w
1	72.34	12.70	977.7	60	4.21×10^3
2	69.22	12.70	977.7	100	4.21×10^3
3	51.10	12.70	988.0	100	4.21×10^3

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,东沟头地热异常区热储的热能量 2.03×10^{16} J,赵家葛湖地热异常区热储和热能量为 5.99×10^{16} J,煤的热值按 1kg 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、69.3、204.5 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(Jiang Zhichao, 2015)。根据地矿部 DZ40-85 标准,热储量的回收率定为 0.15,计算可得三个地热异常区地热田热储可采热储量为 2.19×10^{16} J、 3.05×10^{15} J、 8.98×10^{15} J,相当于 74.7、10.4、30.68 万吨标准煤的产热量。

本区的地下热能由水作为载体,必须以热井的形式开采。管帅—北店地热异常区地热田面积为 $4.79 \times 10^6 \text{m}^2$,热储厚度 200m 和热储层裂隙率 0.15 计算,本区热水储存量为 14370 万 m^3 ;东沟头地热异常区地热田面积为 $1.40 \times 10^6 \text{m}^2$,热储厚度 100m 和热储层裂隙率 0.15 计算,本区热水储存量为 2100 万 m^3 ;赵家葛湖地热异常区地热田面积为 $0.87 \times 10^6 \text{m}^2$,热储厚度 100m 和热储层裂隙率 0.15 计算,本区热水储存量为 1305 万 m^3 。由于三个异常区均属半封闭式,在允许开采量的前提下开采,可以达到采补平衡。

6 结论

以实现沂沭断裂带五莲至莒县段地热资源有效调查为目的,本文以浅层测温方法为主、可控源物探测量为辅,确定被调查区域存在管帅—北店、东沟头、赵家葛湖三个地热异常区,并通过区域地质分析研究并构建其热储模型;进而,通过地热异常区流体化学特征进行相应水质测量评价,得出地热异常区水中微量元素氟(F)、锂(Li)、偏硅酸(H_2SiO_3)、偏硼酸(HBO_2)、放射性元素氡(Rn)含量均已达到有理疗价值浓度,锶(Sr)含量也已接近有理疗价值及矿水浓度,即地热异常区除用于取暖外也可用于洗浴和疗养目的;最后根据调查区的地质及《地热资源地质勘查规范》(GB11615—2010)和《地热资源评价方法》(DZ40—85)计算地热异常区热储能量,结果显示:三个地热异常区地热田热储可采热储量分别为 2.19×10^{16} J、 3.05×10^{15} J、 8.98×10^{15} J,相当于 74.7、10.4、30.68 万吨标准煤的产热量,即地热异常区的热储存量是比较丰富的。但由于地热异常区的地下热水是经深循环补给的,补给途径远、时间长,如需进行更大规模开采,必须考虑地热回灌或更合理的开采方案。综上所述,本文通过对沂沭断裂带五莲至莒县段地热异常区热储模型的分析与研究为实现该区域地热资源的合理、持续开采利用提供了数值化的建议,也为我国其他区域地热资源的生态可持续利用提供了重要的参考价值。

References

Gong Xiaoling, Wang Xianguo, Yang Guohua, Qian Jianli. 2018. The features and development & utilization of geothermal resources. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, (4): 84~85.

Jiang Zhichao. 2015. The evaluation and rational exploitation of geothermal resources in the geothermal field in Suihua City, Heilongjiang Province. Master's thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).

Liang Hongwei. 2018. Application of shallow layer temperature measurement in geothermal resource exploration in Spa Outcrop Area. Ground Water, 40(01): 30~31 (in Chinese with English abstract).

Luo Wenqiang, Zhang Shangkun, Tian Jingxiang, Yang Bin, Zhang Yan, Chen Jun, Ma Xiangxian, Tang Lulu, Sun Xiuzhu. 2018. Review on research progress of Yishu fault zone. Shandong Land and Resources, 34(05): 74~80 (in Chinese with English abstract).

Zhang Zheng, Zhang Lanyu. 2013. A probe into shallow geothermal energy and its development and utilization. Geology of Anhui, 23(3): 231~233 (in Chinese with English abstract).

Zhang Yong, Peng Xinmin. 2014. Feasibility study of HDR geothermal resources in Beijing Area. Urban Geology, (A01): 9~13 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

陈丹薇. 2016. 就地热再生技术在公路养护中的应用. 交通世界, (12): 73~74.
龚晓凌, 王现国, 杨国华, 钱建立. 2018. 地热资源特征及开发利用. 河南水利与南水北调, (4): 84~85.
姜智超. 2015. 黑龙江省绥化市地热田地热资源评价及合理开发利用. 吉林: 吉林大学, 硕士学位论文.
梁宏伟. 2018. 浅层测温方法在温泉出露区地热资源勘查中的应用. 地下水, 40(1): 30~31.
李刚. 2019. 浅谈关于地热能源开发的方法分析. 科技风, (6): 73~74.
罗文强, 张尚坤, 于学峰, 田京祥, 杨斌, 张岩, 陈军, 马祥县, 唐

璐璐, 孙秀珠. 2018. 沂沭断裂带研究进展综述. 山东国土资源, 34(05): 74~80.
任国澄. 2015. 浅谈地热资源及储量计算方法. 西部探矿工程, (11): 108~110.
涂明江. 2019. 地热地质特征及地热资源的开发利用分析. 冶金与材料, 39(03): 188~189.
张正, 张兰玉. 2013. 浅谈浅层地热能及其开发利用的建议. 安徽地质, 23(3): 231~233.
张海娇. 2019. 豫北某城区地热水人工加压回灌实验研究. 西部资源, (3): 139~140.
张勇, 彭新明. 2014. 北京地区干热岩地热资源利用可行性探讨. 城市地质, (A01): 9~13.

Thermal reservoir model of geothermal abnormal area in the
Wulian-Juxian section of Yishu fault zone

YANG Bengu, ZHU Wei*

Shandong 8th Geological and Mineral Exploration Institute, Rizhao, Shandong, 276826

* Corresponding author: 1804988594@qq.com

Abstract

In order to realize the effective investigation of geothermal resources in Wulian-Juxian section of Yishu fault zone, firstly, we determine that there are three geothermal anomalies in the investigated area, such as Guanshuai-Beidian, Donggoutou and Zhaojiage Lake, with shallow temperature measurement as the main method and combined resistivity profile measurement as the supplement, and analyses their thermal storage models. Secondly, the hydrochemical characteristics of the anomalous area are measured and evaluated. Finally, the geothermal reserves in the geothermal anomalous area are calculated. Water quality measurement and evaluation show that the geothermal anomaly area in the investigated area contains a variety of trace elements which are beneficial to human health, and it is an important geothermal water with physical and health value, which can be used for bathing and recuperation purposes besides heating. The calculation results of geothermal reserves show that three abnormal zones of Guanshuai-Beidian, Donggoutou and Zhaojiage Lake can produce heat equivalent to 747000, 104000 and 306800 tons of standard coal, respectively, and the heat storage in the abnormal zones is abundant. This provides numerical suggestions for the rational and sustainable exploitation and utilization of geothermal resources in the investigated areas, and has a certain reference value for the exploitation and utilization of geothermal resources in other regions of China.

Key words: Wulian-Juxian section; geothermal anomaly area; reservoir model; water quality measurement; geothermal reserves