

doi: 10. 11720/wtyht. 2022. 3270

汪名鹏, 杨俊松, 刘彦华. 地温测量在地热勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2022, 46(4): 838–844. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.3270>

Wang M P, Yang J S, Liu Y H. Application of geothermal measurement in the geothermal exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(4): 838–844. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.3270>

地温测量在地热勘查中的应用

汪名鹏^{1,2}, 杨俊松^{1,2}, 刘彦华^{1,2}

(1. 江苏省水文地质海洋地质勘查院, 江苏 淮安 223005; 2. 江苏省水文地质工程地质勘察院, 江苏 淮安 223005)

摘 要: 地温测量是研究地温场分布最直接的方法。地热热源的强度与分布, 直接影响地壳表层土壤温度场的分布, 特别是存在热储层、热运移通道等都会使地温场的分布产生异常。在研究区 16 个民井和 32 个钻孔中进行地温测量, 分析地温场分布状况以及地下热水活动规律, 效果明显。结果表明研究区浅孔与深孔地温场平面特征一致, 越接近东北角地温越有增加的趋势, 而且地温异常区呈 NNE 向条带状分布, 宽度约 700 m, 与 NNE 向断裂展布方向一致, 地温最高点位于 NW 向断裂与 NNE 向断裂交汇处。研究区在纵向上地温分布特征差异性明显, 地下热水分布范围较小, 具有一定局限性, 主要受构造断裂、岩溶发育程度等控制, 温度低的地下水大量涌入导致地下水温度降低, 地温梯度出现异常; 这种地温梯度异常现象也说明了研究区地下热水主要储存于灰质白云岩或角砾岩的裂隙溶洞中, 裂隙、岩溶成为地下热水良好的运移通道。地温测量方法圈定了研究区地热异常区范围, 为进一步勘查地热提供了重要的依据。

关键词: 地热勘查; 地温测量; 地温场; 地热异常

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)04-0838-07

0 引言

随着社会经济发展和人们对地热资源认识的逐步提高, 国内勘查开发地热资源力度不断加强。许多地方的地热资源勘探开发已成为地方经济发展的主导产业。

苏北盆地是我国东部沿海高热流异常带, 平均地温梯度达 3 °C/100 m, 属于地热资源丰富地区^[1]。勘查地热资源方法较多, 常用的有地温测量、电磁法、重力、地震、放射性勘探等, 其中地温测量可以查明地温场空间分布形态、确定地热流体的埋藏和分布特征、圈定地热异常范围、指导下一步地热勘探, 是地热勘查前期一种方便经济而且直观有效的方法^[2]。前人在苏北盆地重点地区, 如洪泽万集一仁和、蒋坝、高良涧以及盱眙县盱城镇等地区开展了浅表地温测量工作, 发现局部存在地热异常现象, 并发现浅表地温异常均与断裂有关。一般情况下, 地温随深度加大而提高, 尤其是活动性断裂通过

处以及次级凸起与凹陷分界处断裂, 地温往往增高, 且多形成地热异常。因此, 在前人工作的基础上本文对洪泽湖—滨海地热异常带的老子山地区进行浅层与深层地温测量, 通过对地温测量数据分析、统计, 查明了研究区地温场分布与展布, 初步圈定地热异常区范围, 为进一步开发利用地热资源提供依据。

1 自然地理概况

研究区位于江苏洪泽区境内, 北跨淮河至老子山镇新淮村, 南到老子山镇张嘴村一带与盱眙县官滩镇相连(图 1), 地表水系较发育, 洪泽湖、淮河为附近较大的河湖。

研究区属于北亚热带季风气候, 四季分明, 雨量充沛, 年平均气温 14°C 左右, 无霜期 220 d, 常年降水量 1 000 mm。地貌属于滨湖平原区, 为淮河三角洲的沙洲部分, 地形平坦; 以前沙洲在枯水期露出水面, 洪水期易被淹没, 现已建有围堤, 成为居民区和养殖区。

收稿日期: 2019-05-15; 修回日期: 2021-11-15

第一作者: 汪名鹏(1973-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事地质勘查与研究工作。Email: ahwmp@163.com

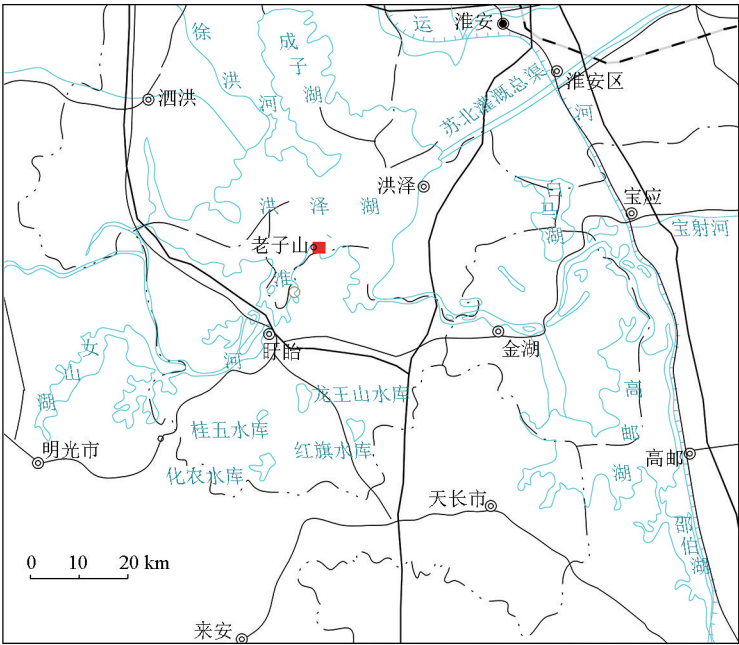


图 1 研究区位置示意

Fig. 1 A schematic diagram of research area

2 研究区地质背景

2.1 地层

研究区地表被第四系覆盖,基岩埋深一般大于 50 m。第四系地层为冲—湖积成因类型,岩性主要为粉土、粉质黏土、中细砂、中粗砂等。基岩地层主要为古近系粉砂质泥岩,震旦系上统灯影组灰质白

云岩、白云质角砾岩等。

2.2 地质构造

研究区处于洪泽凹陷与洪泽—建湖隆起交接部位,构造活动频繁,构造形迹多样,其中断裂构造最为发育,断裂走向大多为 NW、NNE 和 NE 向(图 2)。这些构造控制着研究区地层的发育和地热水资源的赋存条件与分布^[3]。



图 2 研究区基岩地质

Fig. 2 Bed rock geological map of the study area

2.3 水文地质

研究区地下水主要类型有松散岩类孔隙水和碳酸盐岩裂隙溶洞水。松散岩类孔隙水主要含水介质为第四系砂类土,富水性较好;碳酸盐岩裂隙溶洞水含水介质为灯影组白云岩、灰质白云岩,含水层厚度大于 80 m,富水性不均匀,有溶洞发育有关。

3 地温测量数据分析

本次共布置地温测量孔 48 个,其中利用当地民井测温孔 16 个,现场 5 m 勘探测温孔 30 个,探采结合钻孔测温孔 2 个(图 3)。

5 m 测温孔采用晶体数字式 JW-2 型测温仪,先螺纹钻干钻成孔后测温的方法进行,保证测温仪器探头充分接触原始土壤,一般一个孔测温时间约

为 20 min,每个孔在 2、3、4、5 m 分别进行(表 1);探采结合钻孔进行温度测量先采用 GXY-1 型钻机成孔,停钻 72 h 后进行,为的是减少钻进过程泥浆循环对井温的干扰。

民井测温采用测地下水温来代替地温。一般情况下,在长期的水—岩相互作用下,地下水的温度与地温可达到相对平衡状态。据调查本次所测的民井成井均超过 1 年以上,虽然浅层地下水温度受气候、岩性、地形以及地下水运动等因素的影响,但在极短的测温时间内浅层地下水基本能反映浅部地温的分布情况。浅部 2、3、4、5 m 测量数据与现场干钻成孔所测数据基本吻合(表 2)。

每个测温数据均等到数据显示稳定后再读数记录,保证了数据的可靠性和数据间的可比性。

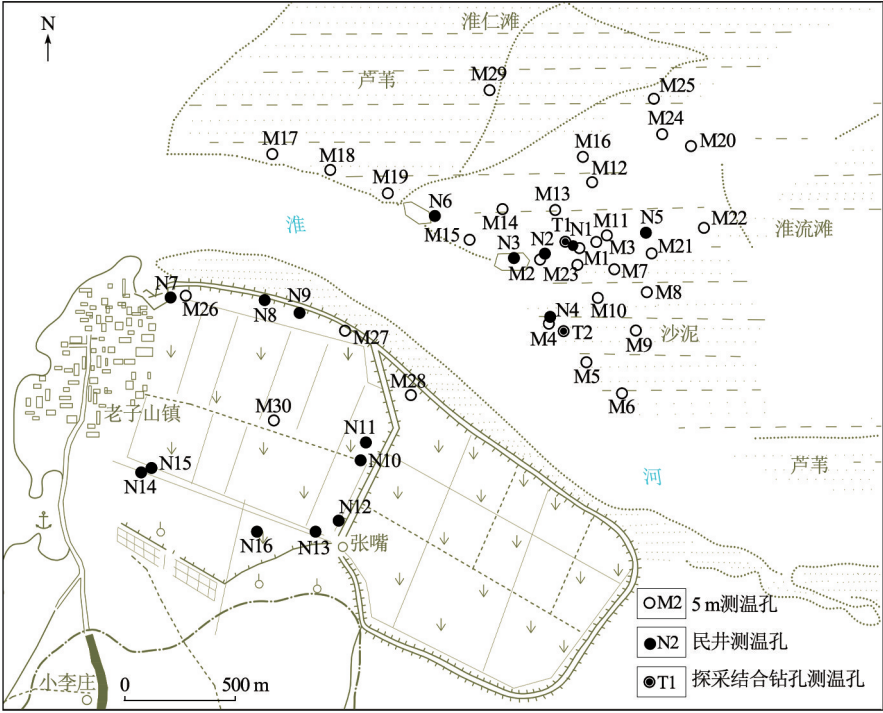


图 3 地温测量孔分布范围
Fig. 3 Distribution of ground temperature measurement holes

表 1 5 m 测温孔不同深度测量数据
Table 1 5 m measurement data of different depths of thermometer hole

不同孔深测温结果/℃					不同孔深测温结果/℃					不同孔深测温结果/℃				
点号	2m	3m	4m	5m	点号	2m	3m	4m	5m	点号	2m	3m	4m	5m
M1	21.0	20.6	21.2	23.1	M11	22.6	21.9	22.6	24.1	M21	23.0	23.0	22.5	22.2
M2	20.1	19.2	18.8	19.8	M12	20.8	19.8	19.9	20.8	M22	22.8	21.8	20.5	20.5
M3	21.0	20.6	21.0	22.8	M13	19.8	18.5	18.5	19.8	M23	26.3	24.8	24.0	23.5
M4	18.8	18.0	17.8	17.7	M14	18.8	17.8	17.8	18.2	M24	24.5	23.2	23.0	23.2
M5	21.2	19.2	17.8	17.4	M15	20.5	19.0	18.2	18.9	M25	25.2	22.8	22.0	22.3
M6	21.1	19.1	17.8	17.8	M16	20.7	19.1	18.3	19.0	M26	18.9	18.1	18.0	17.8
M7	20.8	19.2	18.7	18.7	M17	22.0	20.0	19.1	18.9	M27	20.5	19.7	18.8	20.0
M8	19.4	17.8	17.0	17.0	M18	21.0	19.0	18.0	17.9	M28	20.9	20.0	19.0	20.1
M9	20.1	18.6	17.3	16.3	M19	20.8	18.8	17.5	17.3	M29	20.7	19.0	18.9	18.2
M10	20.9	19.2	17.8	17.0	M20	21.5	20.5	20.0	19.8	M30	20.4	19.0	18.5	20.1

表 2 典型民井不同深度测温数据

Table 2 Temperature measurement data of typical civil wells at different depths

点号	孔深/m	不同深度测温结果/℃											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
N1	25.6	21.0	24.0	24.0	24.1	25.0	26.1	27.5	28.2	29.7	34.2	38.5	41.5
N2	26.0	20	18.9	18.5	19.2	19.8	20.8	21.8	22.4	23.1	26.6	30.2	33.0
N3	27.7	20.1	17.8	17.8	18.8	18.9	19.0	19.8	20.2	21.0	23.8	26.8	29.0
N4	25.0	19.0	17.4	17.4	17.6	18.4	19.0	19.9	20.1	20.5	22.5	24.2	30.6
N5	28.35	22.0	18.4	18.4	18.4	18.9	19.5	20.5	21.2	22	24.9	28.2	30.8
N6	30.0	20.5	16.8	16.8	16.8	16.9	17.5	18.0	18.1	18.4	19	19.9	20.5

3.1 浅孔地温测量数据分析与地温场特征

地球的地温场与电场、磁场一样,也是一种地球物理场,并且是个非稳定场,也就是说某点的温度是空间位置与时间的函数^[4]。地下深部的热会通过不同的渠道和介质向上移动,并受气候、岩性、地下水运动、气温等共同影响,共同构成浅层地温变化规

律。由于在常温带以下是受地球内部热能所控制的增温带,随深度的增加,温度增高,但达到一定深度后,温度增加速度减慢。

由表 1 地温测量数据,可推测埋深 5 m 时的等温曲线图(图 4)。从图 4 可以解释出研究区的东北角地温有增加的趋势,而且地温异常区呈条带状分布。

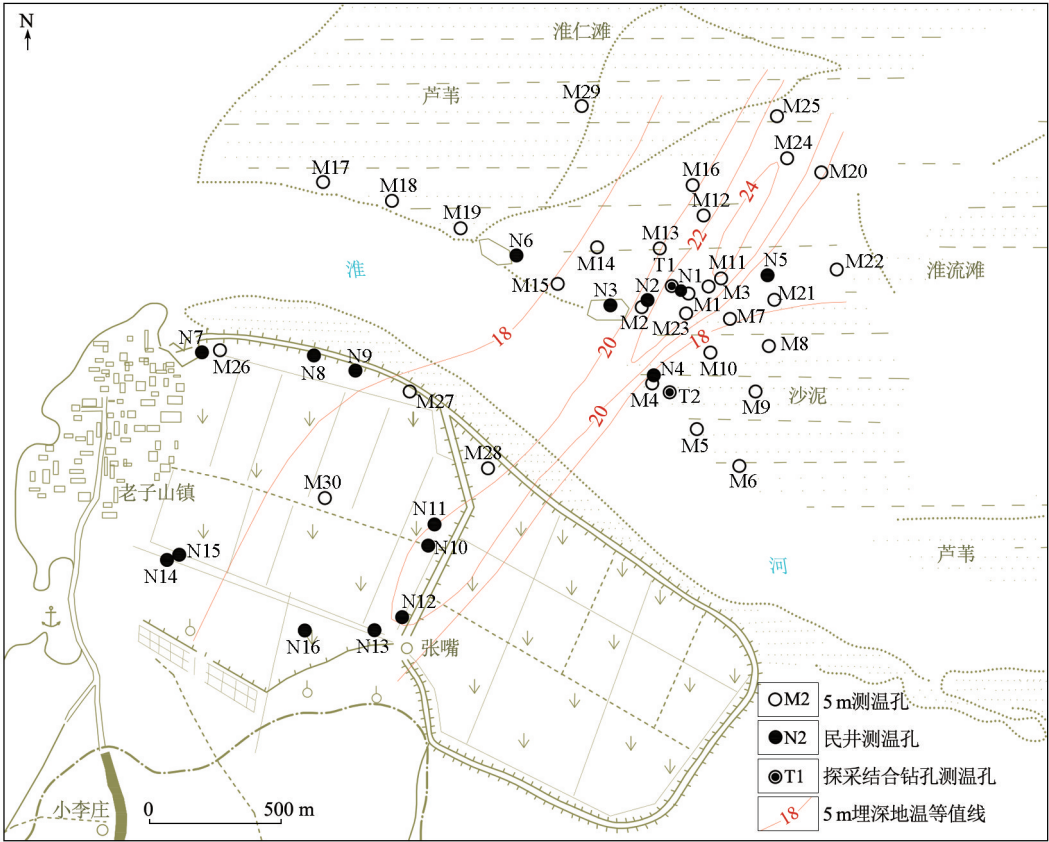


图 4 5 m 埋深地温等值线

Fig. 4 Isothermal curve of 5 m burial depth

根据表 2 典型民井测温数据,可以绘制地温随深度变化曲线(图 5),从图中可以看出研究区浅层地温变化大致分为 3 段。4.5 m 深度以浅,为变温带,随深度增加地温在逐渐降低。在变温带内,温度主要受太阳辐射的影响,与测量地温的季节有关,由于地表受太阳辐射较强,温度较高;当深度增加时,

太阳辐射对地温的影响越来越小,作用也越来越弱,因此温度逐渐降低。4.5~6.0 m 为恒温带深度,太阳辐射与地球的内热达到平衡状态,地温恒定。6.0 m 以深随深度增加,地温逐渐升高。地温场主要受地球内部内热控制,随深度的增加,地热作用不断增强,因而温度也逐渐升高。

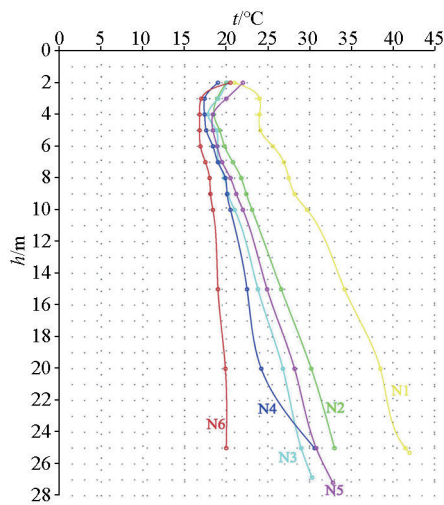


图 5 浅孔地温随深度变化曲线

Fig.5 Shallow ground temperature variation curve with depth

从地温场变化情况来看,研究区明显存在地温异常现象。研究区周边同条件下地区恒温带在 15 m 左右,且一般情况下,恒温带的地温与本地区的年平均气温是一致的,为 14 ℃ 左右。根据本次地温测量数据,研究区恒温带地温在 19.5 ℃ 左右,恒温带深度要远小于其他地区,并导致变温带深度变浅,表明研究区存在地热异常性,地热异常区的热量通过传导不断向地表扩散。

3.2 深孔地温测量数据分析与地温场特征

深部的地下水通过构造裂隙、孔隙以及岩土介质向上运移,影响到浅层地温场的变化分布。为了进一步研究深孔地下温度场变化情况,在浅孔地温研究基础上,对 5 眼深度较大的民井和勘探孔进行地温测量(表 3、表 4)。

表 3 深井测温数据

Table 3 Temperature measurement data of deep civil wells

点号	井深/m	不同深度测温结果/℃							
		30	40	50	60	70	80	90	孔底
N10	93.0	24.1	25.5	26.5	28.0	29.5	31.2	31.8	32.2
N11	95.0	23.0	24.5	26.2	26.5	27.5	28.2	29.4	29.5
N12	88.5	24.5	26	28.2	30.5	31.5	32.5		32.5

表 4 探采结合钻孔测温数据

Table 4 Temperature measurement data of borehdes for exploration and extraotion

点号	孔深/m	不同深度测温结果/℃												
		60	65	66	68	70	74	75	80	85	90	92	94	95
T1	106.78			50	50	50	50		50		50	50	50	
T2	142.4	38	40			41		41	41	41	41			41

点号	孔深/m	不同深度测温结果/℃												
		96	98	100	104	105	106	110	115	120	130	135	140	142
T1	106.78	50	49.5	49	48.5		48							
T2	142.4			42		43		44	44	45	45	44.5	45	45

绘制 90 m 深度地温场平面分布曲线图(图 6),深孔地温场平面特征与浅孔地温场平面特征一致,越接近东北角地温有增加的趋势,而且地温异常区呈 NNE 向条带状分布,宽度约 700 m,与区域上 NNE 向断裂展布方向一致,地温最高点位于 NW 向断裂与 NNE 向断裂交汇处^[5]。

从表 3、表 4 数据看出,随着深度增加,地温逐渐增大;研究区测温范围内岩性主要为白云岩,岩性差异小,不同深度岩石热导率基本相同,影响地温差异主要是地下水活动及其热流大小等。但是,表 4 两个钻孔地温测量数据在同一深度有所差异,表明上部低温地下水通过构造裂隙的渗流,降低了下部岩体的温度。相对于 T2 测温孔,T1 测温孔随深度增加,地温梯度越来越小,从 66~96 m 地温梯度为 0,且 96 m 以下呈现负梯度,表明 T2 测温孔孔内地下水对流作用强烈,富水性好,岩溶非常发育,冷水

大量涌入,瞬时降低了该点地温。

研究区深孔地温场的分布与展布主要受构造断裂、地层岩性、水文地质条件等诸多因素的影响。地温异常较明显范围内揭露的基岩较破碎,岩溶、裂隙较发育,有利于深部热流向上运移至浅部重新分配,导致地温场发生异常改变^[6],反之地温异常则不明显。从地温测量结果分析,研究区地下热水分布范围较小,具一定局限性,从而进一步说明了该区地下热水主要储存于灰质白云岩或角砾岩的裂隙溶洞中,裂隙、岩溶为地下热水良好的上升通道。

通过抽水试验也验证了 T1 孔单井涌水量比 T2 孔要大得多,T1 孔单井涌水量 2.80 L/(s·m),T2 孔单井涌水量 0.189 L/(s·m)。因此,根据温度—深度曲线以及等温线断面图(图 7),可以推断出 T1 孔位于 NW 向陈圩—顺河断裂与 NNE 向淮河自来桥断裂、渔沟—桂五断裂交汇带上^[7-8],并推断出不同

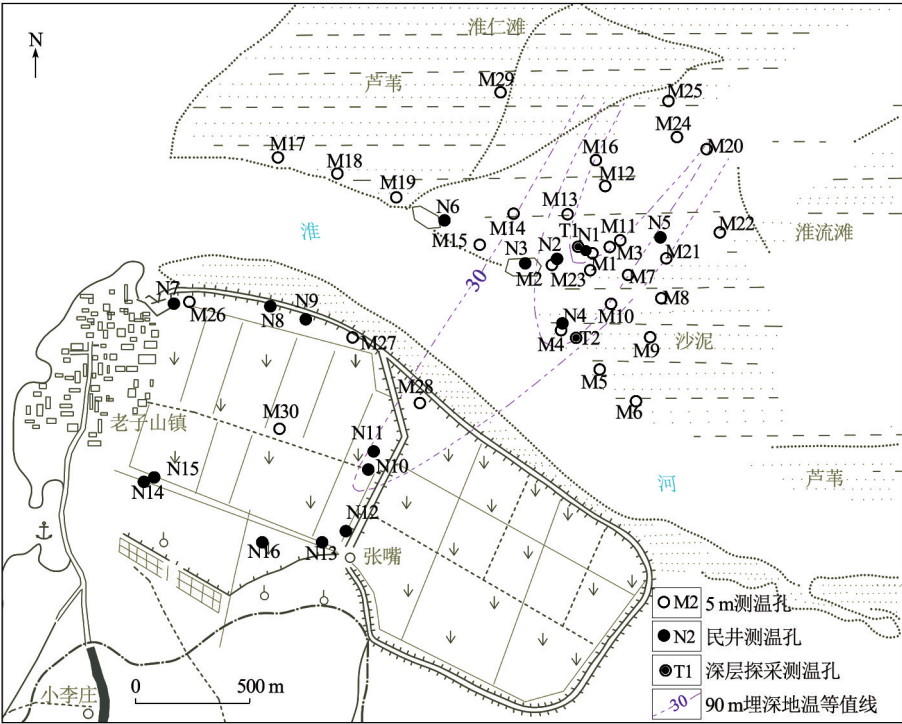


图 6 90 m 埋深地温等值线
Fig. 6 Isothermal curve of 90 m burial depth

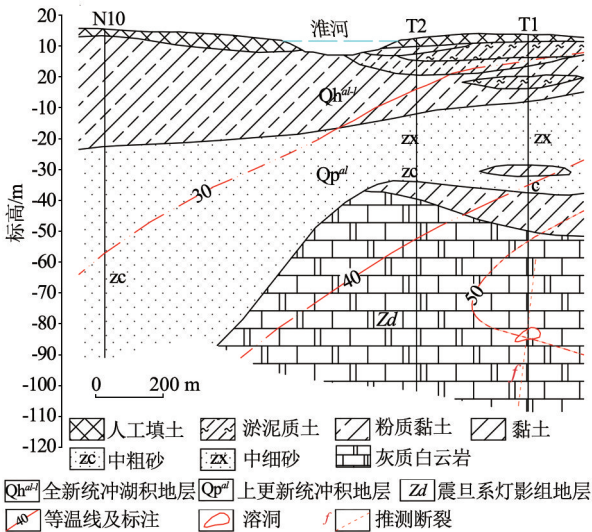


图 7 等温线断面
Fig. 7 Isotherm section

测温孔含水岩层的富水性以及地下热水的对流方向。

4 结论

- 1) 通过地温测量,基本圈定了研究区的地热异常区范围,大致推断出了地下热水的分布范围。
- 2) 研究区浅层地温场恒温带深度在 4.5 m 左右,恒温带地温在 19.5℃左右,恒温带深度与温度与同条件其他地区有所差异,具有地热异常的明显

- 特征。
- 3) 研究区线孔与深孔所测得的地温场平面特征一致,越接近东北角地温越有增加的趋势,而且地温异常区呈 NNE 向条带状分布,宽度约 700 m,与 NNE 向断裂展布方向一致,地温最高点位于 NW 向断裂与 NNE 向断裂交汇处。
- 4) 通过深孔地温测量在纵向上分布特征差异,研究区地下热水主要储存于灰质白云岩或角砾岩的裂隙溶洞中,裂隙、岩溶为地下热水良好的运移通道。

参考文献 (References):

[1] 闵望,喻永祥,陆燕,等. 苏北盆地地热资源评价与区划[J]. 上海国土资源,2015,36(3):90-94,100.
Min W, Yu Y X, Lu Y, et al. Assessment and zoning of geothermal resources in the northern Jiangsu Basin[J]. Shanghai Land & Resources, 2015, 36(3): 90-94, 100.

[2] 陈仲候,王兴泰,杜世汉. 工程与环境物探教程[M]. 北京:地质出版社,1996.
Chen Z H, Wang X T, Du S H. Engineering and environmental geophysical tutorials [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.

[3] 汪名鹏. 洪泽县老子山地热资源现状及开发利用前景分析[J]. 地下水,2008,30(6):53-55,64.
Wang M P. Analysis of present status and prospects of geothermal resources development and utilization in Laozi Mountain area of Hongze County[J]. Ground Water, 2008, 30(6): 53-55, 64.

[4] 胡玉禄,胡红文,张景康,等. 5 m 地温测量在地热勘探中的应用[J]. 水文地质工程地质,2003,30(4),83-85
Hu Y L, Hu H W, Zhang J K, et al. Application of five-meter ground temperature survey to the geothermal exploration [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2003, 30(4) , 83-85.

[5] 汪名鹏,韩光海,顾萍. 洪泽县老子山热矿区地热资源赋存特征[J]. 煤田地质与勘探,2009,37(2):47-50,54.
Wang M P, Han G H, Gu P. Geological features of geothermal resource in Laozi Mountain area of Hongze County [J]. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(2) : 47-50, 54.

[6] 谭静强, 琚宜文, 侯泉林, 等. 淮北煤田宿临矿区现今地温场分布特征及其影响因素[J]. 地球物理学报, 2009, 52(3) : 732-739.
Tan J Q, Ju Y W, Hou Q L, et al. Distribution characteristics and influence factors of present geo-temperature field in Su-Lin mine area, Huaibei coalfield [J]. Chinese Journal Of Geophysics, 2009, 52(3) : 732-739.

[7] 杨峰田, 庞忠和, 王彩会, 等. 苏北盆地老子山热田成因模式 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(2) , 468-475.
Yang F T, Pang Z H, Wang C H, et al. Genesis model of laozishan geothermal field, Subei basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(2) , 468-475.

[8] 罗璐, 庞忠和, 杨峰田, 等. 江苏老子山热田成因分析 [C] // 中国地球物理 2010—中国地球物理学会第二十六届年会、中国地震学会第十三次学术大会论文集, 2010.
Luo L, Pang Z H, Yang F T, et al. Cause analysis of Laozi Mountain thermal field in Jiangsu Province [C] // China Geophysics 2010—26th Annual Meeting of China Geophysical Society, Papers Collection of 13th Academic Conference of China Seismological Society, 2010.

Application of geothermal measurement in the geothermal exploration

WANG Ming-Peng^{1,2}, YANG Jun-Song^{1,2}, LIU Yan-Hua^{1,2}

(1. Hydrogeological and Marine Geological Exploration Institute of Jiangsu Province, Huai'an 223005, China; 2. Hydrogeological and Engineering Geological Investigation Institute of Jiangsu Province, Huai'an 223005, China)

Abstract: Geothermal measurement is the most direct method to study the distribution of geothermal field. The intensity and distribution of geothermal heat sources directly affect the distribution of the soil temperature field in the surface layer of the earth's crust, especially the existence of thermal reservoirs and thermal transport channels can cause anomalies in the distribution of the geothermal field. Geothermal measurements were carried out in 16 civil wells and 32 boreholes in the study area to analyze the distribution of geothermal field and the pattern of underground hot water activity, and the results were obvious. The results show that the geothermal field at shallow depths is laterally consistent with that at deep depths, with the temperature tending to increase toward the northeastern corner of the study area, and that the anomalous geothermal areas are distributed as a NNE-oriented strip, with a width of about 700 m, which is consistent with the NNE-oriented faults. The highest geothermal point is located at the intersection of the NW and NNE-trending faults. . The vertical geothermal distributions in the study area are distinct. The geothermal water is limited to a narrow area. The low-temperature groundwater inflows into the tectonic faults and karsts, with volumes controlled with the development degrees of them, leading to an abnormal geothermal gradient. This anomaly also indicated that the geothermal water in the Laozi Mountain area is mainly stored in fissures and karst caves of limy dolomite or breccia rocks, with fissures and caves providing good pathways for the geothermal water to flow. The geothermal measurement method has traced the range of geothermal anomalies in the study area, which provides an important basis for further geothermal investigation.

Key words: geothermal exploration; geothermal measurement; geothermal field; geothermal anomaly

(本文编辑:王萌)