

浙江省杭嘉湖平原地热资源勘查 靶区圈定与钻探验证

胡 宁 张良红 高海发 韩 芳

(浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203)

摘要:笔者根据近几年“浙江省杭嘉湖平原地热资源勘查”项目的成果,结合区域地质背景,通过地热地质分析,对杭嘉湖平原地热资源的“源、通、盖、储”等关键技术问题进行了深入分析,认为杭嘉湖平原的地热资源类型属断陷、凹陷盆地型。确定 6 处地热勘查靶区。通过钻探验证,杭嘉湖地区具有很大的地热资源潜力。

关键词:杭嘉湖平原;地热;勘查靶区;钻探验证

中图分类号:P314.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)01-0138-07

杭嘉湖平原位于浙江北部,临江近海,西起莫干山麓,北与江苏、上海接壤,南濒临钱塘江河口和杭州湾,总面积约 7000 km²。为长江三角洲平原的一部分。

1 地热异常显示

杭嘉湖地区第四纪以来,由于受古气候冷暖交替的变化,区内沉积了巨厚的河流、河湖、湖海相的松散、松软堆积层,且层层超覆叠置。更新世时期的古河道常形成宽达 2~10 余千米的承压富水带,含水层顶板为巨厚粘土层超覆,形成明显的河流相二元结构。根据第四系孔隙水的时代、成因类型、赋存条件、水理水力特征、水化学性质,可分为上、中、下更新统孔隙承压含水层。

上更新统孔隙承压含水层(I)分布于平原广大地区,富水带沿钱塘江、苕溪古河道沉积并形成 3 条北东向展布的富水带,第一条由杭州经博陆、新市、乌镇、新塍、汾玉进入江苏境内,第二条在桐乡濮院分叉经嘉兴、大云、新埭进入上海境内,第三条由盐官经海盐进入杭州湾。含水层顶板埋深 23~60 m,厚

7~18 m。含水层岩性,在古河道上游为中细砂、砂砾石,中下游为中细砂、细砂、粉细砂。

中更新统孔隙承压含水层(II)主要有 3 条富水带,即盐官、濮院经嘉兴至西塘的钱塘江—苕溪古河道;海宁东、海盐经平湖至上海的钱塘江与杭州湾古河道,以及塘栖、石门、乌镇、新塍向北至江苏的苕溪古河道。含水层顶板埋深 60~120 m,厚度 10~50 m,埋深及厚度由南西向北东递增。含水层岩性为中细砂、砂砾石。

下更新统孔隙承压含水层(III)分布于桐乡、屠甸、海盐一线以北地区,岩性以中粗砂、砂砾石为主,下部密实且常含粘性土,渗透性能较弱。顶板埋深 140~170 m,自南西向北东加深,厚度 8~117 m,平均厚 33 m。

根据长期地下水的观测资料可知,杭嘉湖地区地下水水温特点为:第 I 孔隙承压含水层一般不超过 19℃,第 II 孔隙承压含水层为 21~22℃,第 III 孔隙承压含水层为 23~24℃。

杭嘉湖平原共计发现 26 处地热异常点,其中包括 14 处水温>25℃的地下热水点,12 处井温梯度(>

4℃/100 m)异常点。其中王店水厂 1 号井、嘉兴水泥厂 1 号井十多年来水温保持在 26~28℃,比同层地下水正常温度高 3~4℃。桐乡 3 号井及嘉善水 6 号井 2 处为突发性热水。

1.1 突发性地热异常显示

桐乡自来水公司 3 号井,建于 1981 年 6 月,井深 176 m,未揭露到基岩。建井以来出水量稳定,以 140 m³/h 开采,水位降深一般为 9~11 m。该井常年水温稳定在 21~22.5℃,1989 年 5 月 2 日至 6 月 25 日出现突发性热水。其中 6 月 2 日水温升到最高值达 95℃,一般在 40~80℃之间波动(图 1),持续一个月之久。水色略显褐黄色,并伴有硫化氢气味。在冒热水期间仍以 140 m³/h 开采,但水位降升只有 0.04 m,可见深部热水补给量相当可观。水温恢复正常后,动、静水位明显下降,同样以 140 m³/h 开采,水位降深一般为 5~6 m。冒热水时可溶性 SiO₂ 含量达 72.8 mg/L,固形物为 0.42 g/L,该热水属 HCO₃-Na 型水。

嘉善自来水公司 6 号井 1993 年以来,断断续续出现阵发性热水。该井建于 1983 年 11 月,井深 188.7 m,尚未揭露到基岩,抽取第Ⅲ组孔隙承压水,

成井后水位、水量、水温、水质均正常。1993 年 5 月 29 日下午到 6 月 2 日的 5 d 内断续出现水温增高现象,最高达 48℃。1997 年 5 月 22 日又出现水温异常,一直延续到 6 月 4 日,计 14 d,水温最高达 58℃,一般在 30~40℃之间波动(图 2)。1998 年也有类似水温异常。

1.2 水温异常点显示

杭嘉湖地区已发现水温异常点 14 处,其中水温常年≥25℃的水温异常点有 11 处(表 1)。其中嘉兴地区水温大于 25℃的热水井有王店水厂 1、嘉兴水泥 1、惠民水 1、下店庙 1、平湖斜桥、西塘桥 3、大云水厂 4 等 7 处。王店水厂 1 号井、嘉兴水泥厂 1 号井十多年来水温保持在 26~28℃,比同层地下水正常温度高 3~4℃。

1.3 地温梯度异常点显示

测井资料分析显示,杭嘉湖地区地温梯度背景值比较高,除海宁的大部分地区、桐乡的部分地区、海盐的坎城石泉以及湖州的西北地温梯度为 2.00~3.00℃/100 m 外,其余地区一般为 3.00~4.50℃/100 m。大于 5.0℃/100 m 以上的区间主要分布在平湖斜桥、海盐西塘桥、嘉善惠民、下甸庙、嘉兴、王

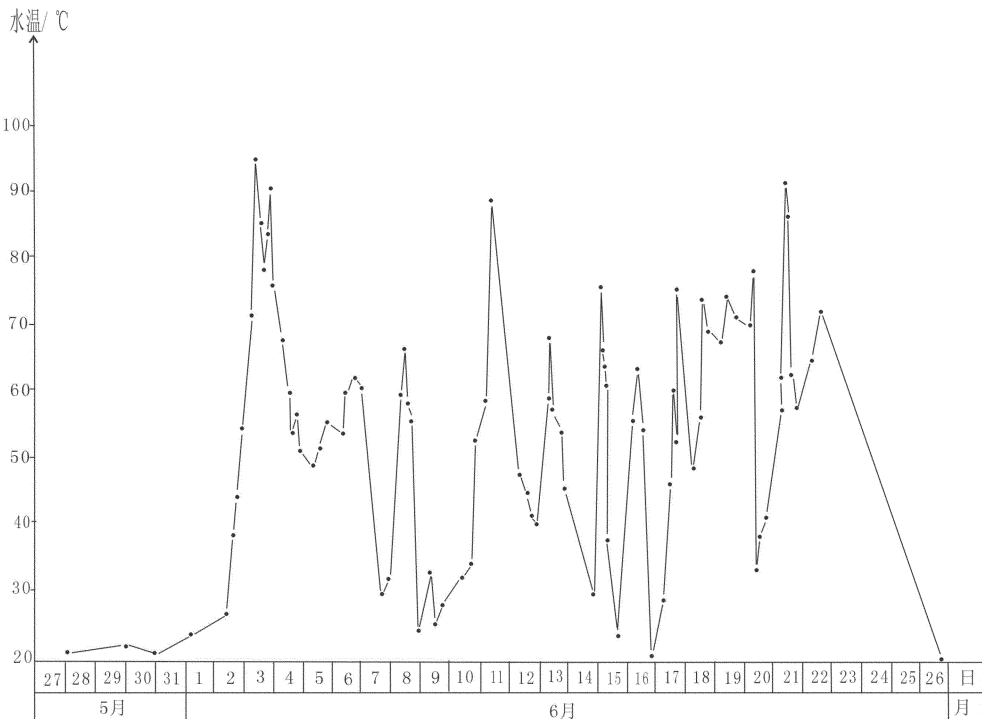


图 1 桐乡水厂 3 号井 1989 年 5-6 月井口水温动态曲线图

Fig.1 Water temperature dynamics graph of No.3 well of Tongxiang water factory from May to June,1989

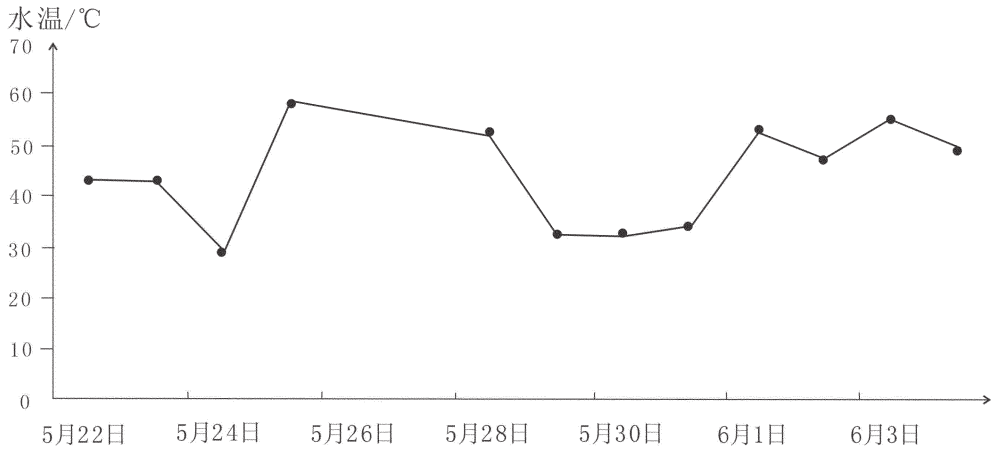


图 2 嘉善 6 号井 1997 年 5-6 月井口水温动态曲线图

Fig.2 Water temperature dynamics graph of No.6 well of Jiashan from May to June, 1997

表 1 井口测温异常点一览表

Table 1 Well thermometric anomaly points

井 号	水温/°C	层 位
下甸庙 1	26.5	III
下甸庙 3	25.0	III
惠民水厂 1	26.3	III
惠民水厂 2	26.0	III
惠民水厂 3	26.0	III
惠民染织	26.0	III
大云水厂 4	25.0	III
秀溪新丰	24.5	III
秀溪水厂 3	25.5	III
新埭水厂 1	24.1	II+III
平湖斜桥	29.0	II+III
前 港 1	25.0	III
王店水厂 1	26.0	II
王店水厂 4	24.0	II

表 2 地温梯度异常点

Table 2 Geothermal gradient anomaly points

井 号	地温梯度 (°C/100m)
平湖斜桥	8.80
西塘桥 3	5.00
惠民水厂 1	5.69
大云水厂 4	5.10
秀溪水厂 3	5.15
惠民水厂 2	5.31
惠民染织 1	5.78
嘉兴水泥 1	6.77
王店水厂 1	6.75
王店水厂 4	5.67
狮岭水厂 1	5.28
海宁水厂 2	11.16

店、海宁一带(平湖斜桥达 8.80°C/100 m, 海宁水厂 2 达 11.16°C /100 m)。地温梯度大于 5.0°C /100 m 的异常点见表 2。这些地热异常显示,杭嘉湖地区具有寻找地下热水的前景。

2 地质背景

该区地处扬子板块的东南缘,在漫长的地质时

期,经历了多期的构造作用和复杂的地史演化过程。早古生代早期,地处扬子台地东南边缘的斜坡及半岛状的台地区沉积了厚近千米的泥岩-碳酸盐岩沉积盖层。早古生代晚期形成了巨厚类复理石沉积,晚古生代记录了稳定的陆表海沉积,以西湖组(D_{3x})石英砂岩、黄龙组(C_{2h})和船山组(CP_c)等灰岩为标志,印支运动使上述沉积岩系遭受构造变形,发生以北东向为主的褶皱、断裂构造。晚中生代以来则属西太平洋构造域之欧亚活动大陆边缘区,促使早期构造

复活,火山-岩浆活动频繁而强烈,是中国东部火山岩浆活动带的组成部分。中生代晚期-新生代以来区域构造背景由活动陆缘转入沟-弧-盆体系域,本区也以拉张-沉陷作用为主。第四纪以来该区地质构造总体呈差异性沉降,第四纪沉积物厚度变化大,平原区一般在数十米至 300 m 以上。

依据重磁异常和岩石物性参数的数据分析,结合钻孔资料,在测区内圈定以白垩系、古近-新近系为主的沉积断陷盆地和以古生界为主的断块隆起区。

自北向南可划分为 2 个隆起带和 2 个坳陷带。坳陷的背景为负向构造,其间分布一些凹陷,凹陷之间一般为断裂分开,凹陷区相当于中生界沉积盆地或断陷盆地。有的凹陷中还可进一步划分为二级或三级构造。隆起的背景为正向构造,它们之中偶有局部凹陷发育,但总体上为正向构造特征。

坳陷带为:震泽-天凝坳陷带;桐乡-平湖坳陷带。

隆起带为:乌镇-嘉兴隆起带;海宁-乍浦隆起带。

隆起区与凹陷区基本以北东向、东西向的区域性断裂为格架(图 3)

3 地热地质分析

热源:从地温场特征看,研究区热流值为 65~80 mW/m²,3000 m 深度等温线图与热流值分布特点

相似,反映出地壳深部传导热是控制本区地温场的主导因素。杭探 1 井资料,侏罗纪地层在埋深 2340~2349 m 测得温度为 72.2℃,即地温梯度 3℃/100 m 左右。碳酸盐岩由于热导率高,地温梯度很小。据邻区上海的水文资料,碳酸盐岩地层地温梯度为 1℃/100 m 左右。因此,可以认为本区地热的形成不是借助附加热源(如岩浆活动),而是来自地壳深部传导热流平衡的结果。

热储:1982 年,原地质矿产部水文地质工程地质司,在进行全国地热资源评价时,对热储的定义是:1000 m 以浅井口水温大于 40℃,水量大于 20 m³/h 或导水系数大于 1 W/m·℃。同时规定 2000 m 以浅为经济型地热资源,2000~3000 m 为亚经济型地热资源。

杭嘉湖地区热储分为孔隙裂隙型热储和裂隙岩溶型热储两种类型。其中奥陶系长坞组砂岩、泥盆系西湖组砂岩及白垩系玄武岩为孔隙裂隙型热储,石炭-二叠系和震旦-寒武系碳酸盐岩为裂隙岩溶型热储。在嘉兴地区海宁、王店及乍浦瓦山见有寒武系碳酸盐岩露头,裂隙发育、岩石破碎。瓦山碳酸盐岩溶蚀现象较为普遍,其次,据可控源音频大地电磁测深证实,嘉兴、惠民、王店等地断裂发育,深度均超过 3000 m。

热储盖层:在嘉兴地热异常区的寒武系碳酸盐岩热储,其上覆盖层为第四系、上奥陶统碎屑岩和

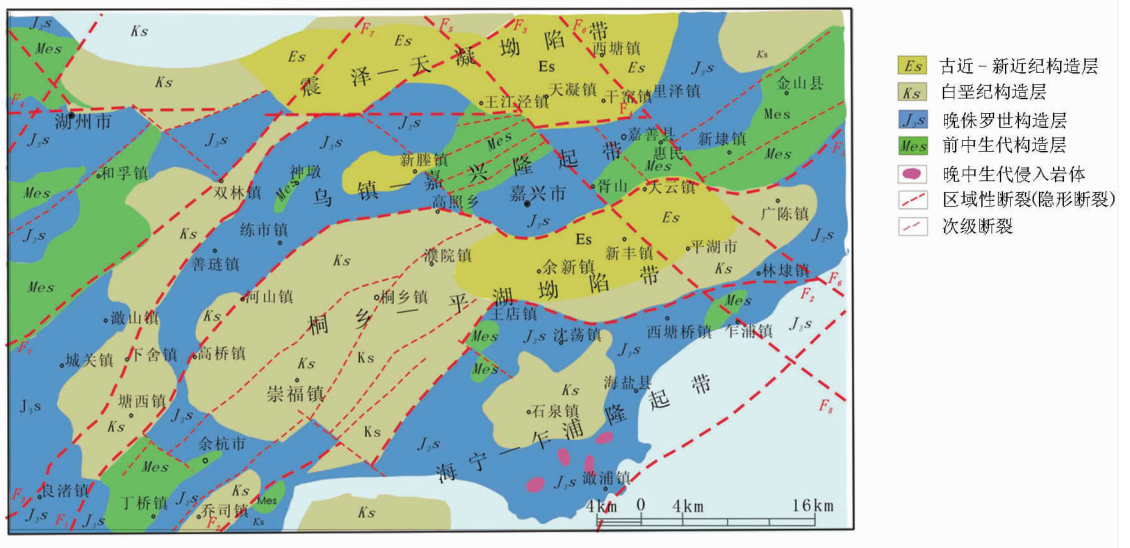


图 3 浙江省杭嘉湖地区构造纲要图
Fig.3 Structural outline of Hangjiahu area, Zhejiang Province

中、下奥陶统灰岩及碎屑岩,盖层厚度大于 1200 m。

通道;从地质构造条件分析,控制杭嘉湖平原东部地质构造的主干断裂为北东-南西向及北西-南东向,在有巨厚盖层覆盖下,致使地热得以形成。

4 地热勘查靶区预测

在对杭嘉湖地区地热地质分析的基础上,确定 6 处地热勘查靶区。即嘉兴地热靶区、海宁—王店地热靶区、胥山—惠民地热靶区、平湖斜桥地热靶区、王江泾—下甸庙地热靶区、桐乡地热靶区(图 4)。

4.1 嘉兴靶区

地热异常主要分布在嘉兴市区,面积约 128 km²,构造上属嘉兴隆起。靶区内有地温异常显示,水泥 1 号井水温常年为 26.5℃。地温异常与区域构造线方向一致,呈北东向。靶区内北东、北西向断裂发育且多为张性断裂,为地下水的储存和运动提供了良好通道;处于断层上盘的岩石张性裂隙发育,为地下水的储存和运动提供了良好空间。热储岩性为古生界的碳酸盐岩,其中上古生界的碳酸盐岩埋藏较浅(1800 m 左右),下古生界碳酸盐岩埋藏较深(2500 m 左右)。该靶区封闭性良好,同时发育有区域性、局部性的热储盖层。

4.2 海宁—王店靶区

地热异常主要分布在海宁硖石和王店一带,面积约 147 km²,构造属海宁隆起和王店隆起。

靶区内有地温异常显示,王店水 1、王店水 4、狮岭水 1 井均有水温异常。地温异常与区域构造线方向不一致,呈近南北向。

区内古生界地层呈断块隆起,上覆侏罗系、白垩系和第四系。萧—球断裂的次级断裂和北西向断裂在此交汇,为地下水的储存和运动提供了良好通道。此处岩层均处于断层上盘,造成张性裂隙发育,受断裂影响岩溶发育,亦为地下水的储存和运动提供了良好空间。构成该靶区的热储岩性为寒武系超峰组白云岩、白云质灰岩。该靶区封闭性较好,热储盖层除第四系覆盖层外,还有白垩系泥岩覆盖。

4.3 胥山—惠民靶区

地热异常主要分布在嘉善、惠民、大云及平湖秀溪一带,面积约 174 km²,构造上属胥山隆起。

靶区内有地温异常显示,嘉善 6 号井发生突发性热水,水温高达 58℃。惠民水厂 1、惠民水厂 2、惠民染织、大云水厂 4、秀溪水厂 3 井均有水温异常。地温异常呈北西向,与北西向断裂构造吻合。

嘉善—湖州东西向断裂从靶区北侧通过,作为

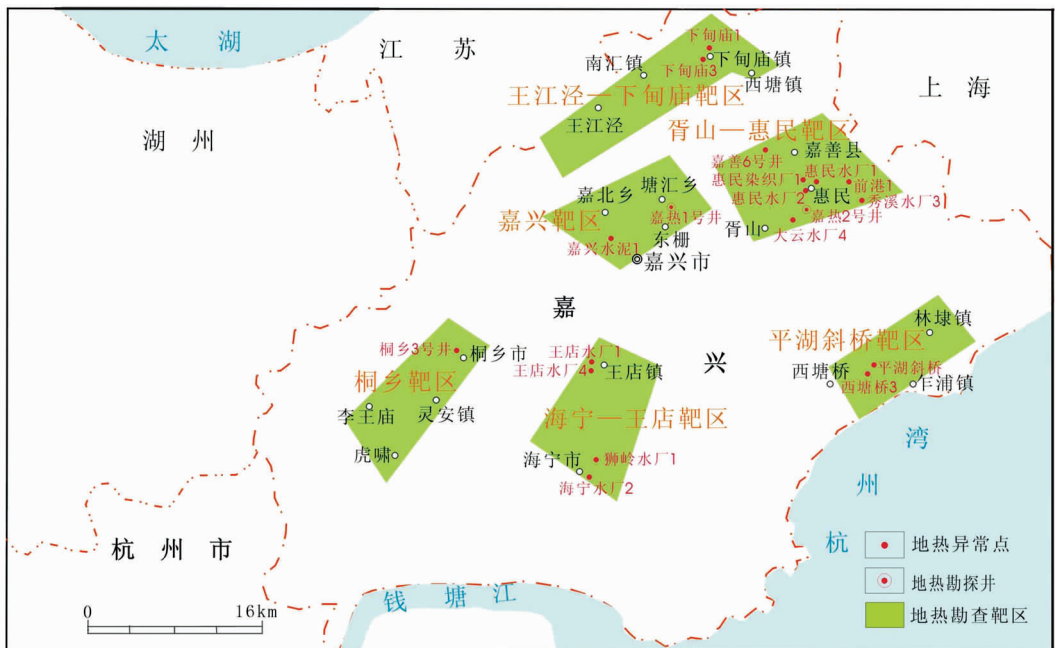


图 4 浙江省杭嘉湖地区地热勘查靶区预测图

Fig.4 Forecasting graph of Hanjiahu geothermal survey target area, Zhejiang Province

热储岩性的震旦系灯影组白云岩、白云质灰岩处于断裂的上盘,张性裂隙和岩溶发育。该靶区封闭性较好,热储盖层除第四系覆盖层外,还有奥陶系长坞组大套泥岩,高阻层埋深达 500 m。

4.4 平湖斜桥靶区

地热异常主要分布在平湖斜桥一带,面积约 147 km²,构造上属西塘桥隆起。

靶区内有地温异常显示,斜桥 1、西塘桥 3 井均有水温异常。地温异常呈北东东向,与区域地质构造方向基本一致。

靶区内主要发育北西向张性断裂。热储岩性为寒武系超峰组白云岩、白云质灰岩。该靶区封闭性较好,热储盖层由第四系和侏罗系组成。

4.5 王江泾一下甸庙靶区

地热异常主要分布在王江泾和下甸庙一带,面积约 152 km²。据重力资料推测深部构造为古生界的断块隆起,属南汇隆起。

靶区内有地温异常显示,下甸庙 1、下甸庙 3 井均有水温异常。地温异常呈北东向,与区域地质构造方向一致。

4.6 桐乡靶区

桐乡地热勘查靶区位于桐乡市梧桐镇和崇福镇一带,构造上属桐乡凹陷,为白垩纪断陷盆地,面积约 124 km²。桐乡靶区位于凹陷中的次隆部位,储热构造非常有利。

桐乡 3 号井发现突发性热水,地热异常点出露于次隆和次凹交接地带,三组断裂(北东、东西、北西向)在此交汇,成为地下水运移的通道。白垩系中的玄武岩、辉绿玢岩,因广泛发育气孔和柱状节理,具备较好的含水空间,可看作是一种热储岩性。据桐乡凹陷 13 个石油钻孔资料分析,玄武岩、辉绿玢岩厚度较小(呈夹层产出),分布极不连续,能否形成有意义的热储层,取决于厚度的大小和分布的连续性。对本区热储岩层的认识,1500 m 以上可考虑凹陷中的玄武岩、辉绿玢岩。2500 m 以下为侏罗系底部古生界的碳酸盐岩。

5 钻探验证

嘉善县地热 2 号探采结合井设计井深 2200 m,终孔深度 2161.81 m,开孔孔径 340 mm,终孔孔径 152 mm,钻孔孔斜 4.8°,达到设计≤5°的要求,钻探施工满足地质设计要求。

钻遇地层

0~293 m 为第四系粘土、砂等松散沉积物。

293~1231 m 为灰色泥岩、含钙质泥质粉砂岩、脉石英。

1231~1472 m 为深灰色粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂细砂岩。

1472~2161.81 m 为深灰色粉砂岩、细砂岩,底部为紫红色砂岩。

终孔后开展物探综合测井,测量井温、井径、井斜、三侧向电阻率、自然电位、自然 γ 、密度等 7 项参数。井深 2155 m 处,井温 63.5℃。

综合测井资料分析,在孔深 1210~1220 m、1430~1460 m、1505~1570 m、1700~1750 m,有破碎现象,推测为含水层。

通过洗井、抽水试验,获得井口水温 40℃,涌水量 255 m³/d 的地下热水。

经国土资源部杭州矿产资源监督检测中心水质检测,偏硅酸 30.7 mg/L,达到了《地热资源地质勘查规范》(GB11615-89)的规定,具有医疗价值。并富含锶 1.2 mg/L、锂 0.62 mg/L、碘 (0.1~1.4)mg/L、溴 (<0.1~1.28)mg/L、硼酸 (0.48~0.8)mg/L 等有益于健康的微量元素及化学组分,属氯化物·重碳酸-钠型温泉。

6 结语

2006—2008 年在嘉兴七星镇和嘉善大云镇施工 2 个地热验证钻孔,嘉热 1 号井孔深 2167.64 m,嘉热 2 号井孔深 2161.81 m,均未能打到预测的热储层,说明对厚覆盖区深部地质构造的判断分析、预测不准确,同时也说明深部地热资源的勘探有很大的风险性。

嘉热 2 号井在奥陶系长坞组砂岩地层中,打出 40℃的热水,涌水量 255 m³/d,在热储岩性上是新的认识,进一步拓宽对杭嘉湖地区地热资源的认识。

嘉热 2 号探采井打出深部热水,是嘉兴地区深部地热勘查工作取得初步突破,对在杭嘉湖地区进一步开展深部地热勘查工作树立了信心,明确了方向,也证实了嘉兴地区存在地热资源。

致谢:在嘉兴地区地热资源勘查项目实施过程中,从项目实施方案论证、设计编写、成果解释、钻探施工等各个环节,一直得到国土资源部老科协谢长芳高级工程师的悉心指导,在此表示衷心感谢。

参考文献(References):

[1] 杨玉新,刘九龙,张文静,等.综合物探方法在天津地区地热勘查

- 中的应用[J]. 世界地质, 2009, 28(3):351-360.
- Yang Yuxing, Liu Jiulong, Zhang Wenjing, et al. Applying comprehensive geophysical prospecting method in geothermal exploration in Tianjin area [J]. Global Geology, 2009, 28 (3):351-360 (in Chinese with English abstract).
- [2] 徐光辉, 余钦范, 袁学诚. 深部地热勘查方法在北京地区应用的探讨[J]. 物探与化探, 2007, 31(1):9-13.
- Xu Guanghui, Yu Qinfa, Yuan Xuecheng. A Tentative discussion on the application of the deep geothermal exploration method in Beijing area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(1): 9-13(in Chinese with English abstract).
- [3] 周厚芳, 刘闯, 石昆法. 地热资源探测方法研究进展[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4):656-661.
- Zhou Houfang, Liu Chuang, Shi Kunfa. A review of study on geothermal resources exploration [J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(4):656-661(in Chinese with English abstract).
- [4] 李保国. 电法勘探在地热勘查中的应用 [J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(4):55-57.
- Li Baoguo. Application effect of electrical surveying in geothermals [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2002, 29 (4): 55-57 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京:科学出版社, 1988:53-88.
- Chen Moxiang. Geothermal of North China [M]. Beijing:Science Press, 1988: 53-88(in Chinese).

Target delineation and drilling verification of geothermal resources exploration in Hangjiahu plain of Zhejiang Province

HU Ning, ZHANG Liang-hong, GAO Hai-fa, HAN Fang

(Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the achievements gained in the implementation of the project "Exploration of Geothermal Resources in Hangjiahu Plain of Zhejiang Province," in combination with regional geological setting, the authors made a detailed geothermal - geological analysis of geothermal resources in Hangjiahu plain in such key technological aspects as the source, the communication, the cover, and the storage". It is shown that the geothermal resource is of the faulted sag basin type. Six geothermal exploration target areas were delineated. Drilling verification shows that the Hangjiahu area has great geothermal resource potential.

Key words: Hangjiahu plain; Geothermal resource; exploration target area; drilling verification

About the first author: HU Ning, male, born in 1961, master, engages mainly in geothermal prospecting and geophysical exploration; E-mail: zjxshn@sina.com.