

陈维君

TV521.3

(浙江省物化勘查院, 余杭 311115)

浙江省属于环太平洋构造—岩浆活动带的一部分, 地处环太平洋火山、地震活动带上。区内无现代火山活动, 但中生代以来地壳运动活跃, 深断裂发育。其特点是, 伴有大规模中酸性岩浆活动, 形成东南沿海火山岩带及大量花岗岩, 广泛分布的北北东、东西及北西向深断裂控制了区内岩浆活动带的分布。上述断裂及其配套构造在近时期活动性仍较强烈, 它们多数可成为地下水运动和上升的良好通道, 从而导致区内温泉(或地下热水点)较为普遍, 构成我国东南沿海地热带向北东段。

1 浙江省地热点概况及其分布特点

按地热资源温度分级标准, 省内现已查明的 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 地热点计有 17 处, 其中绝大部分地热点热水温度在 25°C — 62°C 之间, 属低温地热资源, $> 90^{\circ}\text{C}$ 的中温地热资源仅桐乡梧桐一处, 该处地下热水温度达 95°C , 为全省之冠。杭州灯芯巷地热点一米测温温度为 68.45°C , 尚待深入工作(图 1)。

各地热点概况见表 1。

若将 $> 20^{\circ}\text{C}$ — $< 25^{\circ}\text{C}$ 地热点统计在内, 尚有海宁水厂(24.8 $^{\circ}\text{C}$)。杭州古荡(22.3 $^{\circ}\text{C}$)、临安平山(24 $^{\circ}\text{C}$)、东阳上墅(22 $^{\circ}\text{C}$)、遂昌治岭头(22 $^{\circ}\text{C}$)及平阳敖江(24 $^{\circ}\text{C}$)等六处。此外, 通过检查已基本落实的地热线索点有上虞汤浦、缙云仙都、奉化葛岙、宁海深圳及三门水岙门等五处。其他地热点的分布, 总体上具有北部、东部密集, 温度较高, 向南、向西, 地热点减少, 温度较低的特点。其控制因素为

1. 总体上受深部地壳结构的控制。从莫霍面等深度图上可见(图 1), 地热点多分布在地壳厚度 $\leq 30\text{km}$ 的范围内, 即上地幔隆起区。沿海地热点成带状分布, 显示了受深断裂控制的特点。

2. 我省地热点均属深循环成因。地热点多受与深断裂构造有关的次级断裂控制, 断裂性质多为张性或张扭性, 产状以北西走向为主, 其次为北北东及东西向, 地热点常出现在两组或两组以上断裂的交汇部位。控热断裂分布在基底隆起区边缘(如浙北地区, 图 2)或白垩纪盆地边部(如武义、湖山)。

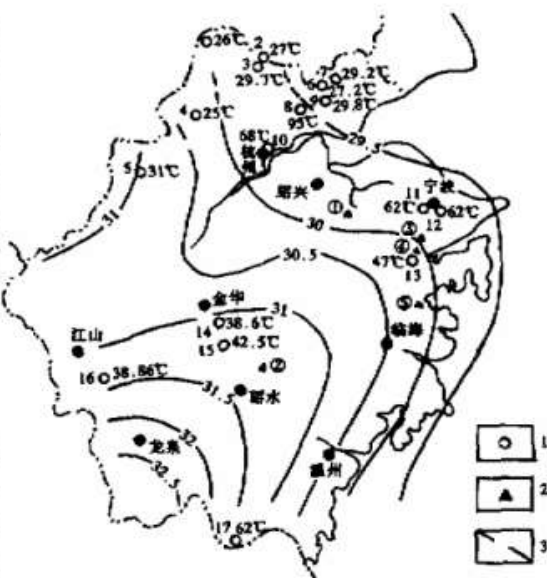


图 1 浙江省地热点分布图

1—地热点; 2—地热线索点; 3—莫霍面等深线

地热点: 1—长兴煤山; 2—湖州白雀; 3—湖州荻山; 4—安吉上墅; 5—临安湫口; 6—嘉兴水泥厂; 7—嘉善惠民水厂; 8—桐乡梧桐水厂; 9—嘉兴王店水厂; 10—杭州灯芯巷; 11—宁波姜山桥; 12—宁波孔桥; 13—宁海南溪; 14—武义塔山; 15—武义溪里; 16—遂昌湖山; 17—泰顺雅洋
地热线索点: 1—上虞汤浦; 2—缙云仙都; 3—奉化葛岙; 4—宁海深圳; 5—三门水岙门

表1 浙江省地热点概况

地热点名称		热水温度	概 况	地 质 背 景
长兴煤山		26℃	不 详	
湖州白雀		27℃	1959年发现,水温26—27℃,后施工4个钻孔、三口浅井,多已废弃,其中三号井于1990年测得水温25℃。	区内分布二迭系灰岩,地热点受北西向断层控制。
湖州荻山		29.7℃	1975年煤田勘探钻井发现,ZK413孔日涌水量870t,孔口水温29.7℃后已堵塞。	受北西向断层控制,含热水井段深410m,地层为二迭系煤系砂岩。
安吉上墅		25℃	不 详	
临安湍口		31℃	1976—1979年开展区域水文地质调查时发现,先后施工普查孔15个,其中CK5孔,深124m,水温31℃、水量达2000t/d。	受北北东向与东西向两组断层交汇处控制,含热水层位为寒武系灰岩。
嘉兴水泥厂		27.2℃	一号井于1976年2月建井,井深158m,开采量1920t/d。	位于嘉兴隆起近顶部,该井开采第四系第Ⅱ层孔隙承压水,基底为侏罗系火山岩,有东西向断层通过。
嘉善惠民	水厂	29.2℃	一号井于1984年4月建井,井深182.43m,开采量864t/d。	位于嘉兴隆起边缘,开采第四系第Ⅲ层孔隙承压水,基底为侏罗系火山岩有北西向断层通过。
	色织厂	27.9℃	一号井于1986年6月建井,井深180.39m,开采量1344t/d。	
桐乡梧桐水		95℃	三号井建于1981年6月,是桐乡水厂主要供水井,常年水温一直稳定在22℃左右,1989年5月2日—6月25日出现阵发性热水,水温最高达95℃。该井深176m,冒热水期间,热水补给量>2270t/d。	分布于白垩纪盆地中,该井开采第四系I、II、III层孔隙承压水,基底岩石为白垩系砂岩,有北东向断层通过。
嘉兴王店水		29.8℃	一号井建于1976年2月,井深150m,开采量1920t/d。	位于海宁—王店隆起顶部,该井开采第四系第Ⅱ层孔隙承压水,基底为古生界及侏罗系火山岩,有北东向断层通过。
宁波西郊菜面桥		62℃	1991年为油气普查施工的宁参一井当钻至深285—295m井段时,泥浆地表出口温度为62℃,泥浆漏失速度为5.6m ³ /h,表明为一含热水破碎带。该井深3147m,井中技术套管下至2669m,终孔后套管壁均以水泥固井。	位于宁波盆地中部断块隆起区,该井0—84m为第四系,以下均为白垩系,地震反映有北东,北西向二组断层通过。
宁波孔浦		62℃	宁波渔业公司39号井,历年水温20.5℃,1980年7—11月发现水温有间歇性升高,最高时达62℃。	位于宁波盆地中部断块隆起区,井深105m,第四系厚102m,下复白垩系,有北西向断层通过。
宁海南溪		47℃	温泉水温34℃,1960年勘查CKE2孔深100m,水温47℃,水量150t/d。	受北北东向断层控制,断层向南东倾,上盘为石英斑岩,下盘为侏罗系火山岩。
武义塔山		38.6℃	1976年勘查萤石矿发现,13个钻孔中有5个孔孔口自流水温>22℃,其中ZK13孔水温33℃,流量40t/d,该孔170m深处测得水温38.6℃,1988年施工WR2孔,获得水温38℃,水量485t/d。	分布在白垩纪盆地边缘,受北东向与北西向断层交汇处控制。
武义溪里		42.5℃	萤石开采矿井中,分别在237、280、330m深处,涌出热水温度为37℃、37.5℃、42.5℃,水量达6000t/d。	分布在白垩纪盆地边缘,受北东向断层与北西向断层交汇处控制。
遂昌湖山萤石矿区		38.86℃	1984年—1986年对矿区26个钻孔进行了简易井温测量,水温>25℃有17个孔,最高38.86℃涌出地表。	分布在白垩纪盆地中,受北西向含矿断层控制。
泰顺雅洋		62℃	温泉水温>62℃,流量150—172.8t/d,其北西方向尚有二处冒气地点。	分布在白垩纪盆地边缘,受北西向与北东向断层交汇处控制。
杭州灯芯巷		68.45℃	1993年9月14日在灯芯巷口红牡丹理发室发现地面有热感,经一米深测温深度可达68.45℃,持续时间约半月余。	第四系厚约40m,下伏侏罗系火山岩,地热点受北西向断层控制。

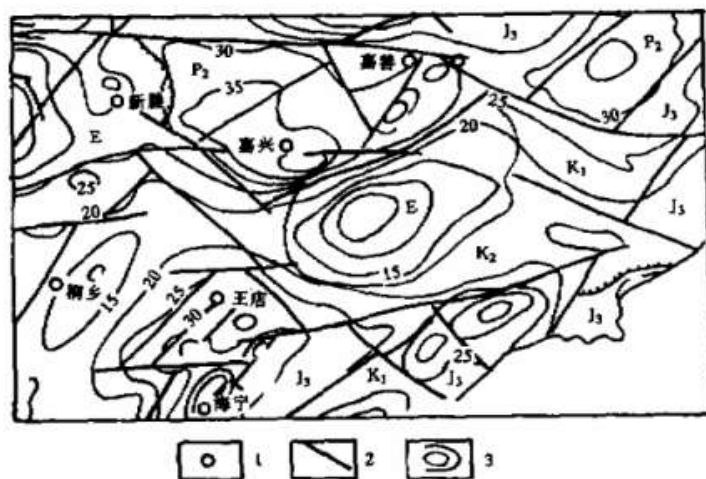


图2 浙北地区地热点分布图

1—地热点; 2—断层; 3—布加重力异常等值线

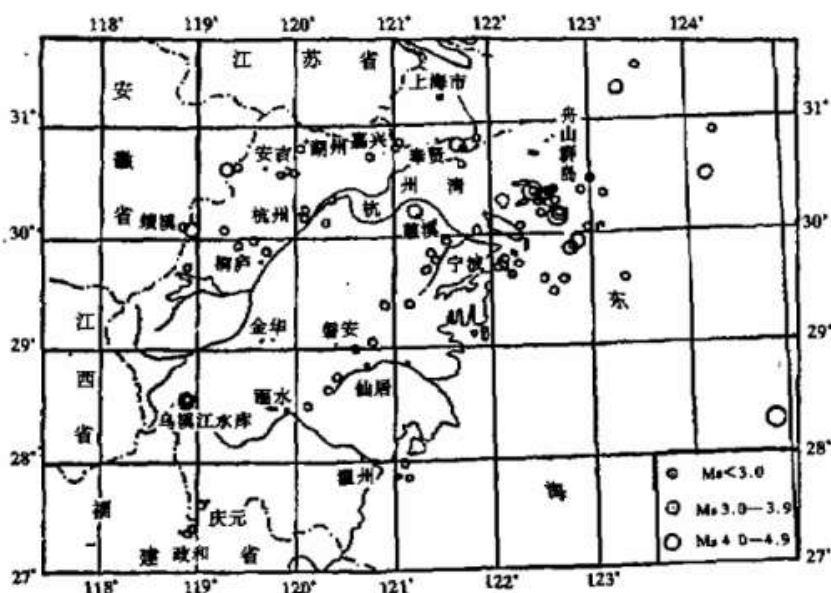


图 3 浙江省 $M_s \geq 3 \frac{3}{4}$ (4.7) 震中分布图

3. 控热断裂形成时期较新, 多为燕山晚期, 喜山期或长期活动性断裂。从浙江地震局^[1]编制的全省震中分布图(图3)可以看出, 浙江的历史地震与仪器记录的地震集中分布在北纬30°线以北, 宁波—庆元一带及温州、舟山地区。表明了我省地热点分布区亦是新构造运动比较发育的地区。

2 地热研究程度及开发利用现状

浙江省地热调查工作始于六十年代,但迄今为止仅有少数地热点做过较为详细的勘查工作,其中有宁海南溪、武义塔山、临安湍口、湖州白雀等处,投入的方法主要有磁法、电法、钻探,部分点开展了 α 径迹、静电 α 卡法、Po法测量及红外测温等工作,其他地热点工作程度较低。勘查工作的布置均围绕已知温泉点或发现

地下热水的钻孔进行,以查明控热断裂构造,为钻孔布置提供依据为主要目的。由于采用的方法不能预测地下热储分布的空间位置,影响了勘查的效果。

八十年代后期,省物化勘查院引进了国内外地热勘查中效果较好的地热化探及米测温方法。由于沿导水断裂上涌的地下热水,与浅部潜水混合并加热浅部土壤后,可在地表形成热异常区。米测温法即利用测量地表浅层温度场分布寻找控热构造,是勘查地下热水的直接方法。据理论计算^[2]和实际工作^[3]表明,应用米测温法可以发现埋藏300m左右,温度不小于50℃,有一定延伸方向的地下热水;应用化探方法,是基于一般地下水中均含有Hg、As、Sb、Bi等挥发性元素,尤其是Hg是一种强烈活动性元素,具高挥发性及强迁移能力,并有垂直向上迁移的特点。上述元素常在热田上方土壤中富集,因此,分析地热点周围土壤中的上述指示元素,可以直接指示地下热储分布的空间位置。

事实表明,经过对潜口、桐乡、宁波、汤浦等地热点采用一米测温及地热化探方法,取得了缩小勘查靶区的良好效果(表2)。潜口地热点,在缩小的异常中心区以电法及静电。卡法确定控热断层的位置、产状,为布置钻孔提供了确切的依据。

表2 浙江某些地热点地热化探及米测温效果

地热点	热水温度(℃)	热储深度(m)	第四系厚度(m)	一米测温异常值(℃)	Hg异常值($\times 10^{-6}$)	备 注
潜 口	>31	95	14.5	2.64	1318	
桐 乡	>95	≥ 200	约200	4.35	1108	
宁 波 宁参一井	>62	290	84	1.75		由于表层土壤污染 严重测Hg效果差
汤 浦			50	1.85	255	未验证

此外,桐乡及宁波孔浦(及杭州)地热点均具有阵发性特点。勘查表明,冒热水钻孔均远离地下主要热水通道。据省水文总站地下水动态监测资料,在桐乡水厂三号井出现阵发性热水期间,与其距离10—50km不等的王店水厂一号井、嘉兴水泥厂一号井、惠民水厂一号井水温都有所升高,比平时高出1—2℃。因此,热水上涌很可能与该区地壳构造近期活动性有关。

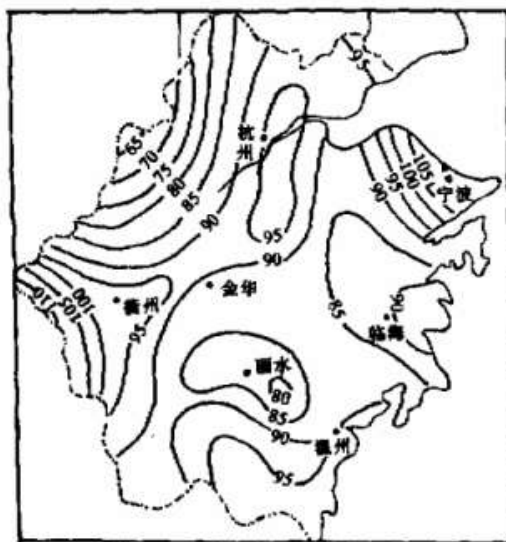


图4 浙江省3000m深度等温线图



图5 浙江省热流值分布等值线图深度等温线图

浙江地热基础研究工作开展较晚,1992年中科院地质所与浙江石油勘探处合作,开展了浙江省现代地温

场的基础研究工作^[4]。通过对全省 76 个钻孔测温资料的分析及岩石热物性的测试,编制了浙江省 3000m 深度等温线图(图 4)及浙江省热流值分布等值线图(图 5),反映了上地幔传导热是控制区域地温场分布的主导因素。其中,宁波、衢州—杭州、泰顺—平阳属地温场的高北景区,与全省地热点的分布是大致吻合的。

目前我省仅少数地热点得到初步开发利用,其中泰顺雅洋温泉、宁海南溪温泉二处温度较高,建有温泉宾馆;武义塔山及潜口分别建有温泉种鱼场及牛蛙养殖场。温泉中常含各种有益于人体健康的微量元素,如雅洋温泉及潜口温泉分别含可溶性 SiO_2 、放射性元素 Rn 及游离 CO_2 较高,塔山地下水含 F 较高,均达到医用热矿水标准,可用于治疗关节炎及各种皮肤疾病。由于上述地热点或因地理位置偏僻、或因水温偏低,均未能取得较好的经济效益。

3 开发前景及对策

以上资料表明,浙江省地热资源较为丰富,尤以浙北地区、宁波盆地及东南沿海地区更具远景。分析以往的地热勘查成果,需要指出以下几个问题。

1. 全省目前已知温泉及地下热水点,多为地下水与浅部潜水混合而成。有两种情况:

(1) 浙北平原区及宁波孔浦计七处地下热水点,均系深部热水沿构造裂隙上涌补给第四系孔隙承压含水层而成。混合水温高低与地下热储温度、导水通道发育程度及热水补给量大小有关。宁波西郊宁参一井测得的系泥浆地表出口温度,为地下水与钻井冲液混合而成。

省环境总站利用桐乡水厂三号井冒热水时和恢复正常后的水温资料、可溶性 SiO_2 含量及二氧化硅温标计算公式,计算出地下热水的温度为 128.3°C ;该孔冒热水期间地下水热水补给量 $>2270\text{t/d}$ 。●

(2) 部分地热点的勘查资料表明,钻孔最终获得的热水为混合水。

如潜口地热点,钻井终孔测井资料证实,井中套管分层止水质量差,导致浅部潜水及深部冷水渗入孔内,使热水温度降低。武义塔山为普查热水施工的三个钻孔,终孔后抽水试验结果,水温较测井资料降低 $4-25^\circ\text{C}$ 不等(表 3)。分析认为,水温下降与冷水混入有较大关系。

表 3 浙江武义塔山热水温度受冷水混入的影响

孔 号	试 段 位 置(m)	井中最高温度($^\circ\text{C}$)	地表出水口温度($^\circ\text{C}$)
WR1	24.09—235.86	39	24
	235.86—349.35	51	26
WR2	181.03—364.74	42	38
WR3	89.55—435.09	48	30

2. 全省已知地热点勘查资料表明,由于对地下热储中心位置缺乏地表判别标志,造成勘探费用增加,影响了成果的质量。经过对部分地热点作用一米测温及地热化探方法进行前期勘查之后,发现已知温泉或热水井均远离地下热储的中心位置。如临安潜口、温泉点与地下热储中心的水平距离为 130m 左右;桐乡梧桐三号井与主要热储中心的水平距离在 200—900m 之间;宁波宁参一井与热储中心水平距离在 1000m 左右。

因此,我省到目前为止已报导的地热点温度数据是偏低的。依据现有资料可以预测,浙北平原及宁波盆地地下深处可能存在多个以中温($90-150^\circ\text{C}$)为主的巨大热储。省环境总站对浙北杭嘉湖地区选择 36 个测温井计算了地热梯度,该区地热梯度一般为 $2.68-4.78^\circ\text{C}/100\text{m}$,最大值的海宁水厂二号井和王店水厂一号井分别达到 $11.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ 及 $8.88^\circ\text{C}/100\text{m}$,平均 $4.19^\circ\text{C}/100\text{m}$,与我国东部地区主要新生代沉积盆地相比较,以 $>5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 作为地热异常区,异常面积可达 860 余平方公里。估算出目前已混合的低温热水可

● 浙江环境地质总站,浙江省杭加湖地区热矿水调查研究报告,1991。

采资源量达 746.432 万 m^3 , 表明深部中温热水的补给量是相当丰富的。

地矿部在“十年规划”的任务目标中,适时地提出了“开展城市及缺能地区地热调查”的要求。我省较为丰富的地热资源恰分布在浙北桐乡、杭州、嘉兴、海宁、嘉善及宁波等重要城市及其周围,其中尤以杭州和宁波分别是我省的省会城市及重要经济开发区,若地热资源能得到进一步的开发利用,在当前改革开放的形势下,对促进城市经济的发展具有重大意义。这方面,在国内地热开发较早的天津、福建、广东、海南等省(市)所取得的经济效益是有目共睹的。

地热勘查是一项难度较大、有一定风险、一旦突破将具有较大经济价值的科技工作。我省的这项工作在国内相应滞后,为了促进地热工作的快速发展,特提出以下对策。

1. 建议省有关部门领导对城市地热勘查项目,组织一次科学评估及可行性论证,在取得共识的基础上,给予必要的资金扶持;

2. 宁波、桐乡、杭州等地热点已不同程度地开展过前期勘查工作,预测了地下热储可能存在的部位,缩小了勘探靶区,宜尽快选点详勘,争取近年内有所突破;

3. 对已部分开发利用的地热点,针对其存在的问题,补给部分工作以提高地下热水温度,进一步提高使用价值。

相信在上级领导的重视与支持下,随着我们对浙北地热赋存规律认识的加深及勘查方法技术的日臻完善,浙江地热取得重大突破将是指日可待的。

本文多处引用了浙江省环境总站及浙江石油勘探处的成果资料,在此,对环境总站总工朱川,石油勘探处总工蒋维三及中国石油开发公司区域勘查项目经理部总工徐克定及物化探所朱炳球(教授级高工)等同志给予的支持表示深切的谢意。

参 考 文 献

- (1) 钱 祝,浙江的地震活动特点及趋势探讨,浙江地质,第6卷,第1期,1990。
- (2) 贾萼希、李大心、关小平,地热勘查中浅层测温法勘探能力的探讨,物化探技术,第9卷,第4期,1987。
- (3) 贾萼希、关小平、徐建华,地热勘查中一米测温法几个问题的探讨,物探与化探,第10卷,第2期,1986。
- (4) 中科院地质所、浙江石油勘探处,宁波、金衢盆地现代地温与热演化历史,1993。
- (5) 朱炳球等,地矿部物化探研究所,地热田地球化学勘查,地质出版社,166页,1992。

GEOHERMAL RESOURCES IN ZHEJIANG PROVINCE AND PROSPECTS OF THEIR EXPLOITATION

Chen Weijun

(Zhejiang Academy of Geophysical and Geochemical Exploration, Yuhang 311115)