

# 悦来温泉热水资源特征及开发利用

石林

湖南省水文地质环境地质调查监测所

**摘要：**悦来温泉地处湖南省南部，地下热水资源非常丰富，目前已查明的热水点有15处，其中温泉8处（水温20℃以上），钻孔揭露的热水井7处（至2010年）。地下热水以中低温为主，温泉水温高者51℃，钻孔揭露的井口水温最高者50℃（混合抽水）。热水点主要分布在白沙—悦来—马田一带。该地下热水点分布的区域主要为石山岩溶区，由于受多次地壳运动影响，断裂构造发育，地表水系密布，石灰岩岩溶发育，区内历年平均降雨量为1300至1500毫米，地下水补给赋存条件好，水资源比较丰富，因此，探讨地下热水资源的分布规律与特点，为寻找和开发利用地下热水，对解决城镇用水、热水资源综合利用等都有着重要的实际意义。

**关键词：**地下热水；温泉；资源综合利用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.07.082

## 一、悦来温泉水资源特征

### （一）水量

悦来温泉位于F1断裂的南西盘，泉水流量0.17~3.15L/s（1987年5月~1988年6月长观资料）；据原ZK68钻孔抽水试验：降深3.42m，涌水量1537.92m<sup>3</sup>/d（混合抽水，最高水温50℃），地下热水资源丰富。

### （二）水质

温泉水具无色透明，温泉水出露水温47—51℃（1987年5月—1988年6月长观资料），据原ZK68钻孔抽水试验时最高水温50℃。pH值6.33~7.60，呈弱酸—弱碱性；矿化度489.08~664.80mg/L；总硬度8.23~10.40德度；阳离子Ca<sup>2+</sup>含量为245.5mg/L、Mg<sup>2+</sup>含量为37.68mg/L，占毫克当量总数的95.05%；阴离子SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量为244.07mg/L、HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>含量为552.6mg/L，占

毫克当量总数的98.38%，化学类型为SO<sub>4</sub>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>Ca、Mg型。

温泉水中含特殊化学成分，如偏硅酸、锂、锶、锌、溴、钼、氟、氡等微量元素，F<sup>-</sup>含量0.058mg/L，可溶SiO<sub>2</sub>含量26.00mg/L，偏硅酸含量69.63~72.16mg/L，锶2.8~3.62mg/L、矿化度1159.68~1297.4mg/L，其中偏硅酸、锶、矿化度均达到了饮用天然矿泉水国家标准，偏硅酸和矿化度同时达到了中国医疗矿泉水标准，氡含量为24.27埃曼，接近标准，同时热水中还有大量气泡冒出，并含有具有刺激性气味（臭气）的硫化氢气体。

### （三）地下热水的赋存条件

温泉位于F1断裂南西盘的（C1d1）灰岩、炭质灰岩中，据物探资料，F1断裂带为高电阻带，起到阻水作用；F1断裂两盘则电阻低，岩溶发育，岩溶发育深度为100m左右，基本上沿F1、F2断裂带发育，发育宽度50~150m，为地下热水的赋存提供了空间。

主井在钻探过程中，孔深0—40m，冲洗液水温低于20℃，孔深大于45m时，冲洗液水温高达38℃，通过资料分析，裂隙岩溶水具有多层性，即含水层存在不同温度的独立含水层，层与层之间的岩溶不发育带为相对隔水带。

### （四）地下热水流场特征

大气降水是温泉地下热水的主要补给源。大气降水通过地表松散岩类的孔隙、基岩裂隙和碳酸盐岩的各种岩溶、裂隙向下渗透，以裂隙、岩溶管道紊流形式进行深部循环，地下热水运动方向总体是由南西流向北东方向流动，受F1断裂的阻隔，在有利部位以泉的形式排泄于地表，F1断裂南西侧有多处出露，泉水温度一般31—50℃，见温泉地下热水形成示意图（图1）。

温泉地下热水形成示意图

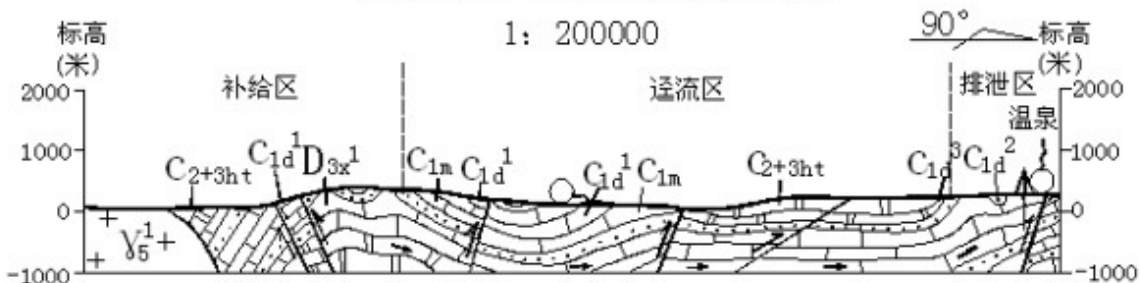


图1 温泉地下热水形成示意图

## 二、地下热水开发利用

### (一) 地下热水资源评价

2002年初,广东省中山市三乡镇泉林公园与永兴县政府联合开发天然地下热水资源,第一站选择在湖南省永兴县悦来乡温泉头村开发修建一个集温泉洗浴、游乐、游艺、会议、休闲为一体的温泉游乐山庄,要求地下水混合水温不低于45度,日产水量不小于1500m<sup>3</sup>/d。

在原钻孔和温泉旁修建主井和备用井,主井于2002年12月10—18日进行了单孔抽水试验,降深14.77m,稳定达30小时,水量2042.5m<sup>3</sup>/d,水温46℃。抽水过程中水由浑浊至逐渐变清,同时在北东45°方向产生2个塌陷洞,距抽水井距离分别为22m、45m,塌洞呈圆形,直径2—4m,深1.5—3.5m。随后继续抽水,于12月25日产生塌陷3个,分布与上面在同一线上,最远一处距抽水井约300m,三个塌坑的直径为1.8—3.0m,深1.5—3.5m,洞内未见地下水位。为充分暴露边界条件,抽水未间断,经过长达一个月的连续抽水,未出现新的塌陷,但井东南约1250m的温泉(袁家桥)自流量减少。

备用井于2003年7月17日~7月20日进行了单孔抽水试验,降深14.5m,水量达2615.4m<sup>3</sup>/d,稳定24小时,水温43℃,未出现过塌陷。主井、备用井相距仅50m,处于同一储水带上,备用井抽水时,主井受到明显影响,水位降深1.6m;停抽后,水位恢复较快。

为合理有效保护当前地下水资源以及地质环境,有必要对本区地下热水资源进行评价:

#### 1、计算分区

根据含水岩层及地下水类型分布特征,将本供水区域分为石灰岩裂隙溶洞水区(C2+3、C1d1、C1d3)及碎屑岩构造及风化裂隙水区(C1d2)两大计算区,第四系松散岩类孔隙水(Q4)呈零散分布,不具备独立完整的地下水系统,故不再单独进行资源计算,而归入其基岩所在区域计算。

#### 2、计算原则

由于本次水文地质计算是以评价永兴县悦来乡温泉热水资源为目的,根据这一目的以及供水区域水文地质条件和两个计算区的水文地质勘察程度之差异,确定如下计算原则:

a、资源计算以可开采量为主,为了论证其保证程度,对天然补给量及储存量也进行评价。

b、天然补给量和储存量计算,原则上引用《1:20万耒阳幅水文地质普查报告》中的有关参数成果或资料。

#### 3、供水区域地下水资源量

##### a、补给量

碎屑岩构造及风化裂隙水区(C1d2)降水渗入补

量为594m<sup>3</sup>/d,区外侧向补给量为229m<sup>3</sup>/d,渠灌田间入渗补给量为51m<sup>3</sup>/d,合计补给量为874m<sup>3</sup>/d;石灰岩裂隙溶洞水区(C2+3、C1d1、C1d3)降水渗入补给量为5439m<sup>3</sup>/d,区外侧向补给量为7033m<sup>3</sup>/d,渠灌田间入渗补给量为450m<sup>3</sup>/d,合计补给量为12922m<sup>3</sup>/d。供水区域地下水总补给量为17796m<sup>3</sup>/d。

##### b、储存量

碎屑岩构造及风化裂隙水区(C1d2)储存量为9005500m<sup>3</sup>。石灰岩裂隙溶洞水区(C2+3、C1d1、C1d3)储存量为41989248m<sup>3</sup>。

##### c、可开采量

(a)碎屑岩构造及风化裂隙水区(C1d2)可开采量

该含水层区域现有约73口居民家用浅井,无机井分布,每口井目前涌水量为1~5m<sup>3</sup>/d不等,目前实际开采量约180m<sup>3</sup>/d,泉水自流量总量为100m<sup>3</sup>/d左右,预估可开采量为280m<sup>3</sup>/d(类比)。采用可开采系数法估算的可开采量结果为305m<sup>3</sup>/d。两者平均值为293m<sup>3</sup>/d。

(b)石灰岩裂隙溶洞水区(C2+3、C1d1、C1d3)可开采量

分布该范围的主井进行了长时间的抽水试验,降深稳定在14.77m,水量2042.5m<sup>3</sup>/d,水温46℃。抽水过程中水由浑浊至逐渐变清,其东南方向约1250m的温泉(袁家桥)自流量减少但不断流,其枯季最小流量仍有2210m<sup>3</sup>/d。

采用地下水动力学法对主机井在设计降深25.50m时的可开采量估算结果为3792m<sup>3</sup>/d,而袁家桥温泉流量预计为1000m<sup>3</sup>/d,总流量为4792m<sup>3</sup>/d;而采用可开采系数法估算的可开采量结果为4910m<sup>3</sup>/d。两者平均值为4851m<sup>3</sup>/d。

#### 4、地下水资源计算成果评价

从上述计算结果可知,碎屑岩构造及风化裂隙水区(C1d2)的补给量是可开采量的2.9倍,石灰岩裂隙溶洞水区(C2+3、C1d1、C1d3)的补给量是开采量的3.2倍,且均未考虑上覆第四系松散岩类孔隙水(Q3)越流补给,此外,供水区域尚有十分丰富的储存量可供调节。因此,本文提供的地下水可开采量是有可靠保证的。资源级别达到B级。

### (二) 地下热水开发利用

地下热水应用广泛,在工业、农业、医疗、发电、采暖、旅游行业等领域都有所涉及。地下热水在工业方面用于纺织、印染、缫丝、造纸、酿造、制革、蒸馏、干燥、制盐、木材加工、制冷等工艺流程。从热卤水中可提取碘、溴、钾、硼、锶等,利用地下热水还可生产重水。在北京、天津等一些城市的纺织厂利用地下热水,大大地提高了产品质量。地下热水在农业方面主要

用于育秧、农作物良种培育等。地下热水中往往还含有某些特殊的化学元素，如硅、氟、铁、硼、锂、碘、铷以及铀、镭等放射性物质，此外还含有较多的气体成分，如二氧化碳、氮、硫化氢、甲烷和放射性氡等。由于地下热水中的这些特殊成分对人体具有生理上的影响，这也是地下热水的医疗作用。此外，地下热水和蒸汽还常用来发电。

温泉游乐山庄正式营业后，到这里来洗浴、游乐的旅客逐步增多，已收到了良好的社会效益和经济效益，并随后又联合开发了在湖南省内极具较高知名度的马田墟温泉度假村。

主井、备用井建成后，在井附近修建防护带，并对原抽水引起的塌陷进行专项治理工作，以防止泥土进入及污水渗入，自2004年开始投入生产，始终做到限量了开采，同时做好水质、水温、水量、水位及环境影响等长期观测工作，至今未出现水源枯竭和不良地质现象，水温稳定。

### 三、结论

从区内地下热水富集带的分布规律看，除受地质构造、地貌以及岩性等相关的因素影响之外，主要受北西向活动断裂控制，断裂两侧富水性的差异又与断裂的规模、力学性质、含水层的岩性等有关。区内地下热水主要沿F1断裂西南侧分布，水温稳定、出水量大，是永兴县范围地下热水的主要找水方向；而F1断裂北东为地下“冷水”分布区，泉水自流量达22200m<sup>3</sup>/d，可作为农田灌溉、城镇居民或工矿企业供水水源地。故研究其分布规律和富水特点，从而合理地开发和利用好地下水资源评价意义非凡。

地下热水集中开采易出现降落漏斗，一旦出现漏斗将不易恢复，尤其是大流量长时间开采易产生地面塌陷，严重时抽水井被填堵报废，因此，地下热水开采时应严格控制开采量。

永兴县悦来温泉地下热水年龄约为3~5万年，几乎是不可再生的有限地宝贵资源，然而在其开发利用过程中依然存在诸多问题，为了使本省地下热水资源得到充分可持续的开发利用，建议采取如下一些措施：

(一) 加强对热储基本条件及有关理论研究。由于对基本条件认识并不完全清楚，导致湖南省地热开发如今出现了一系列问题，故而造成对井数量及开采层位的决策不力，为此需投入一定的勘探工作量，以研究基本条件。另外，对地下热水资源和地热能资源计算理论与方法应进一步探索完善，调整修正地热资源的可采量，为地下热水的合理开发与可持续利用提供基础性资料。

(二) 加强地热水资源管理。要结合地下热水动态监测资料，严格按照“湖南省国土厅地热资源开发利用规划”及有关布设地热井，使井位适当，分层开

采。要从技术、经济、法律、行政、教育和政策等方面提高管理水平，进一步完善各项规章制度及管理措施，通过对地热井的监测、模拟、预测，有效控制地热水的开采量，从而为湖南省地热水资源管理逐步走向科学化奠定基础。

(三) 实行梯级开发，提高综合利用率。近年来地热井数量与开采量逐年增加，虽然开发项目增多，但梯级开发、综合利用率相当低，采暖尾水直接排入下水道或高温水自然散热与机械散热后洗浴，既对周围环境产生不同程度地热污染，又浪费掉宝贵的资源，因此要在地热水的综合利用上下功夫。如直接供暖的单位其尾水补充其他单位的供暖锅炉等，既可充分利用热能，又可节约水资源。同时加强对低温水的直接利用途径的研究，使开发出的地热水资源得到充分利用。

(四) 开源节流，限量开采。湖南省的地下热水源普遍较深，成井费用高，而且成井深度多为300~500m左右，一眼热水井的使用寿命一般不到15年，而一个热源地点往往被数家公司共同开发使用，其开采井布置很不合理，且相互干扰影响，热井出水量出水不稳定，给企业造成较大的损失。为了地下热水的可持续开发利用，提高热水井使用年限，科学限量是必要的。对部分年开采量大、水头下降快的地热井，要实施限量开采，实行以供定需，优化配置，节约保护地热水资源。

(五) 地热区域回灌试验刻不容缓。地热资源本身是有限的、不可再生的宝贵资源，结合本区地下热水水位下降较快的现实，本人认为有必要进行回灌，而且应尽早做好这方面的试验研究工作。只有通过试验研究，确定相关参数、方法，为以后实质性的回灌寻求经验与依据，充分发挥地球这一巨大热库的作用，才能使湖南省的地热资源实现长久利用，从而最大限度地发挥其社会效益和经济效益。

### 参考文献

- [1] 周训，周海燕，方斌，樊友丽，李娟，王新娟. 浅析开采条件下地下热水资源的演变[J]. 地质通报, 2009(04)
- [2] 马殿辉，闫鸿林，王德良，宋育贤. 地热资源的开发与利用[J]. 国外油田工程, 2010(06)
- [3] 野虚，由温泉的利用到地热的开发[J]. 当代矿工, 2012(05)
- [4] 国土资源部. 四项工作大力开发地热资源[J]. 中国住宅设施, 2009(08)
- [5] 李晓华，马驰. 地热水资源开发引起的环境问题分析[J]. 安徽农业科学, 2009(18)

作者简介：石林（1987年3月-），男，汉族，湖南株洲人，本科，工程师，主要研究方向：工程地质、水文地质。