



## 杭嘉湖平原水热型地热资源综合评价与开发利用建议

张萌<sup>1</sup>, 杨豪<sup>2</sup>, 黄雯<sup>3</sup>, 彭振宇<sup>2</sup>, 张良红<sup>2</sup>, 秦祥熙<sup>1</sup>

1. 浙江陆特能源科技股份有限公司, 浙江 杭州 310051;

2. 浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203; 3. 浙江省国土整治中心, 浙江 杭州 310012

**摘要:** 通过对杭嘉湖地区水热型地热资源进行综合评价可知, 该区地热储量为  $439.18 \times 10^{14}$  kJ, 地热流体储存量为  $212.22 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 地热流体可开采量为  $16\ 864.8 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/a, 地热流体可开采热量为  $2\ 366.88 \times 10^{10}$  kJ/a, 可用于旅游疗养、地热供暖、水产养殖等方向。建议地热资源的开发利用应开采与保护并重, 做到科学规划、合理开发、绿色可持续发展。除用于旅游疗养外, 该区地热资源可结合入特色农业、地质文化村等建设中, 形成梯级综合利用模式; 可结合区内丰富的浅层地热能资源, 形成深浅结合的利用模式; 还可结合热泵技术、太阳能技术、空气能技术等清洁能源技术, 形成“地热+”复合开发模式。

**关键词:** 水热型地热; 地热储量; 清洁能源; 杭嘉湖平原; 浙江省

## COMPREHENSIVE EVALUATION AND SUGGESTIONS FOR DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF HYDROTHERMAL RESOURCES IN HANGZHOU-JIAXING-HUZHOU PLAIN

ZHANG Meng<sup>1</sup>, YANG Hao<sup>2</sup>, HUANG Wen<sup>3</sup>, PENG Zhen-yu<sup>2</sup>, ZHANG Liang-hong<sup>2</sup>, QIN Xiang-xi<sup>1</sup>

1. Zhejiang LoopMaster Energy Science & Technology Co., Ltd., Hangzhou 310051, China;

2. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, China;

3. Zhejiang Land Consolidation and Rehabilitation Center, Hangzhou 310012, China

**Abstract:** The comprehensive evaluation of hydrothermal resources in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou region shows that the geothermal reserves is  $439.18 \times 10^{14}$  kJ, with the geothermal fluid storage of  $212.22 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, the exploitable geothermal fluid of  $16\ 864.8 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/a, and the exploitable heat of  $2\ 366.88 \times 10^{10}$  kJ/a, which can be used for convalescent tour, geothermal heating and aquaculture. It is suggested that the local authorities should pay equal attention to the protection of geothermal resources in the process of development and utilization to achieve scientific planning, rational exploitation and green sustainable development. Besides, the geothermal resources can be combined with the characteristic agriculture and construction of geological cultural village to form a cascade comprehensive utilization mode, combined with the abundant shallow geothermal energy resources to form a deep-shallow combination utilization mode, and combined with clean energy technologies such as heat pump, solar energy and air energy to form a “geothermal+” compound development mode.

**Key words:** hydrothermal resources; geothermal reserve; clean energy; Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain; Zhejiang Province

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2022-05-09. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“全国地热资源现状调查评价与区划”(12120113077300).

作者简介: 张萌(1988—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水工环地质、地热资源综合利用方面工作, 通信地址 浙江省杭州市滨江区滨盛路 1688 号明豪大厦 29 楼, E-mail//zm110656@163.com

## 0 引言

地热能在我国分布广泛,种类繁多,开发利用潜力巨大<sup>[1-3]</sup>. 杭嘉湖平原位于浙江北部,地理范围大致包括太湖以南、钱塘江和杭州湾以北、天目山以东、东海以西的广大地区,行政范围包括嘉兴市全境、湖州市大部、杭州市的东北部. 该区地热资源较为丰富,前人已进行了多方面的研究. 张健等<sup>[4]</sup>、朱戈等<sup>[5]</sup>对包括该区在内的我国东部与长江中下游地区的深部地热资源分布特征、地温场特征等进行了研究;张萌等<sup>[6]</sup>通过研究浙江省区域地质背景,探讨了该区的地热资源赋存特征;冯一维<sup>[7]</sup>、林清龙<sup>[8]</sup>研究了该区地热水的水文地球化学特征;胡宁等<sup>[9-10]</sup>通过钻探验证、物探勘查等,分析了该区地热资源的“源、通、盖、储”等关键技术问题;朱华雄<sup>[11]</sup>、蔡旭梅等<sup>[12]</sup>、严金叙等<sup>[13]</sup>对湖州太湖南岸地热田的成因模式、热储概念模型、勘查开发方向等进行了研究. 本文在现有研究成果与地热勘查成果的基础上,开展前人未涉及的地热资源综合评价工作,为今后的开发利用提供科学建议.

## 1 区域地热地质概况

杭嘉湖平原属于浙西北扬子准地台地区,地层发育较全,从新元古代—新生代各时期地层均有出露,大部分地区地表为第四系覆盖. 该区固结程度低,地壳活动性大,在各次地壳运动中以褶皱变形为主,伴随褶皱形成的区域性深大断裂切割深、延长远,并显示多期活动性,以北东向、东西向和北西向3组断裂构成主体框架. 主要有北东向的马金—乌镇深断裂(F2)、学川—湖州大断裂(F4)、萧山—球川深大断裂(F3),北西向的长兴—奉化深大断裂(F14)和东西向的湖州—嘉善深大断裂(F13)(图1). 这些断裂纵向切割深,部分甚至延伸到壳幔深处,对次级构造单元及沉积作用具有较大的控制作用,并对地热资源的赋存与运移形成深刻的影响.

杭嘉湖平原位于幔隆区,莫霍面埋深相对较浅,大地热流值较高,具有较好的热生成条件,断裂构造的发育又为深部岩层的富水及导热创造了良好的条件<sup>[6]</sup>. 已有地热区主要分布于学川—湖州大断裂和湖州—嘉善深大断裂交汇的湖州太湖南岸沉积断陷区,以及萧山—球川深大断裂、湖州—嘉善深大断裂、马金—乌镇深断裂交汇的桐乡—平湖凹陷(Ⅲ2-1)、王店凸起

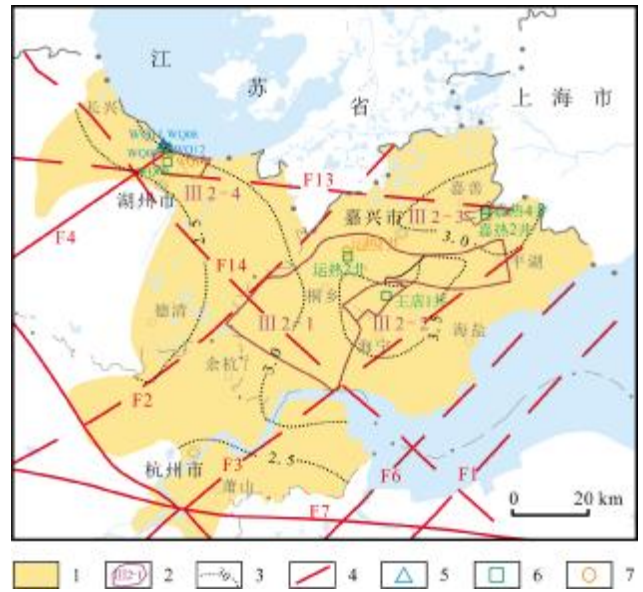


图1 杭嘉湖平原地热资源分布图

Fig. 1 Distribution of geothermal resources in Hangjiahu Plain  
1—研究区范围(study area); 2—地热分区(geothermal zonation); 3—盖层地温梯度等值线(geothermal gradient contour of caprock,  $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ); 4—断裂(fault); 5—地热井(geothermal well,  $25 \leq t < 40^{\circ}\text{C}$ ); 6—地热井(geothermal well,  $40 \leq t < 60^{\circ}\text{C}$ ); 7—地热井(geothermal well,  $60 \leq t < 90^{\circ}\text{C}$ ); F1—江山—绍兴深大断裂(Jiangshan-Shaoxing deep fault); F2—马金—乌镇深断裂(Majin-Wuzhen deep fault); F3—萧山—球川深大断裂(Xiaoshan-Qiuchuan deep fault); F4—学川—湖州大断裂(Xuechuan-Huzhou major fault); F6—常山—漓渚大断裂(Changshan-Lizhu major fault); F7—昌化—普陀大断裂(Changhua-Putuo major fault); F13—湖州—嘉善深大断裂(Huzhou-Jiashan deep fault); F14—长兴—奉化深大断裂(Changxing-Fenghua major fault); Ⅲ2-1—桐乡—平湖凹陷地热区(Tongxiang-Pinghu sag geothermal area); Ⅲ2-2—王店凸起地热区(Wangdian uplift geothermal area); Ⅲ2-3—胥山凸起地热区(Xushan bulge geothermal area); Ⅲ2-4—湖州盆地地热区(Huzhou basin geothermal area)

(Ⅲ2-2)和胥山凸起(Ⅲ2-3). 热储层构造部位多以背斜为主体,并与断裂构造交错. 热储层有一定埋深,盖层多为泥岩、泥质砂岩、砂岩等. 盖层地温梯度为3~3.5  $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ,大于地壳的近似平均地温梯度,表现为地温梯度热异常,有利于热量的存储.

## 2 地热资源赋存特征

杭嘉湖平原地区地热资源行政分布范围主要为嘉兴地区的嘉兴市、嘉善县、桐乡市、海宁市、平湖市和湖州市吴兴区. 地热资源类型为沉积盆地型,热储类型多样,有带状、层状及层状兼带状热储等多种类型,如

表1所示.热储受构造控制,横向分布不连续,纵向厚度变化较大.

### 2.1 双层热储

分布于桐乡-平湖凹陷,基底为古生界石炭-二叠系碳酸盐岩,上部直接覆盖白垩系碎屑岩,缺失中生代沉积,为白垩系与石炭-二叠系双层热储结构.运热1井1400 m钻透白垩系底部砾岩后,直接见及石炭系黄龙组灰岩,岩溶裂隙发育,水量丰富,控制可开采量2592 m<sup>3</sup>/d,水温64℃.

### 2.2 单一热储

#### (1)碳酸盐岩热储

寒武系碳酸盐岩单一热储分布于嘉兴王店凸起,盖层由第四系松散沉积物和新近系碎屑岩组成,厚约400 m;热储由寒武系超峰组、大陈岭组碳酸盐岩组成,热储层厚数百米至千米不等,单井涌水量可达500 m<sup>3</sup>/d以上.石炭-二叠系碳酸盐岩单一热储分布于湖州太湖南岸地区,盖层由第四系松散沉积物和白垩系碎屑岩组成,由山前向东部平原逐渐加厚,最厚处超过1000 m;热储由二叠系栖霞组、石炭系船山组和黄龙组碳酸盐岩热储组成,厚数十米至数百米不等,单井涌水量差别较大,最高可达1000 m<sup>3</sup>/d以上.

#### (2)其他岩类构造裂隙型热储

分布于嘉兴胥山凸起,上覆盖层为第四系松散沉积物、白垩系碎屑岩和侏罗系火山碎屑岩.嘉热2井储水层为上奥陶统长坞组中粒砂岩,水量330 m<sup>3</sup>/d.嘉热4井储水层为志留系唐家坞组砂岩,水量294 m<sup>3</sup>/d.

## 3 地热资源综合评价

### 3.1 评价内容与方法

地热资源综合评价分为地热资源评价和地热流体不同用途评价,综合参照《地热资源评价方法及估算规程》(DZ/T 0331—2020)<sup>[14]</sup>、《地热资源地质勘查规范》(GB11615—2010)<sup>[15]</sup>、《全国地热资源调查评价与区划技术要求(试行)》<sup>[16]</sup>进行.

地热资源评价深度为4000 m以浅,分25~40℃、40~60℃、60~90℃、90~150℃四个不同热储温度范围,如图2所示.评价内容包括地热储量、地热流体储量、地热流体可开采量、地热流体可开采热量,计算公式及各参数的物理意义、单位、取值方法详见文献[14-16].热储面积以深大断裂为界,并结合区域物探和地层岩性资料,以及地热钻孔揭露的热储层的分布范围计算.热储厚度以地热井揭露的该热储层的绝对厚度的平均值作为热储层厚度.其余参数优先采用已有勘查成果资料的内容,对于资料较少或没有资料的地区,采用区域经验值.对于现有地热勘查资料已基本查清区域热储特征的地热区,地热流体可开采量采用最大允许降深法,如桐乡-平湖凹陷石炭-二叠系热储层(Ⅲ2-1b)和湖州盆地石炭-二叠系热储层(Ⅲ2-4),其他热储层采用开采系数法.

地热流体不同用途评价包括理疗矿水评价、饮用天然矿泉水评价、生活饮用水评价、农业灌溉用水评价、渔业用水评价、有用矿物组分评价.各地热区代表性地热水取样分析结果见表2.

### 3.2 综合评价结果

#### (1)地热资源评价

表1 研究区热储类型及概况

Table 1 Types and basic information of geothermal reservoirs in the study area

行政区	地热分区及编号	热储类型	热储层	代表性地热井概况
嘉兴	桐乡-平湖凹陷 (Ⅲ2-1)	上部孔隙下部岩溶 复合型层状	白垩系(a) 石炭-二叠系(b)	运热1井深2003.78 m,水温62℃,水量2592 m <sup>3</sup> /d 运热2井深2202.68 m,水温52℃,水量302.2 m <sup>3</sup> /d
	王店凸起 (Ⅲ2-2)	岩溶型层状兼带状	寒武系	王店1井深2002.58 m,水温42℃,井水量507.8 m <sup>3</sup> /d
	胥山凸起 (Ⅲ2-3)	构造裂隙型带状	上奥陶统长坞组 志留系唐家坞组	嘉热2井深2161.81 m,水温41℃,水量330 m <sup>3</sup> /d 嘉热4井深2001.65 m,水温43℃,水量273.3 m <sup>3</sup> /d
湖州	湖州盆地 (Ⅲ2-4)	岩溶型层状兼带状	石炭-二叠系	WQ08井深397.9 m,水温30℃,水量809.9 m <sup>3</sup> /d WQ09井深1596.3 m,水温41℃,水量401 m <sup>3</sup> /d WQ10井深1725.51 m,水温62℃,水量1348 m <sup>3</sup> /d

表 2 研究区地热水水质分析结果  
Table 2 Water quality test results of geothermal water in the study area

地热井	运热 1 井	运热 2 井	王店 1 井	嘉热 2 井	嘉热 4 井	WQ08	WQ9	WQ10
水温/℃	62	52	42	41	43	30	41	62
水化学类型	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> ·Cl-Na	Cl-Ca·Na	HCO <sub>3</sub> ·Cl-Na·Ca	Cl·HCO <sub>3</sub> -Na	Cl·HCO <sub>3</sub> -Na·Ca	HCO <sub>3</sub> -Ca	Cl·HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> -Na	HCO <sub>3</sub> -Na·Ca
pH	6.93	6.46	7.33	8.6	7.19	7.58	6.71	6.66
TDS	4777.55	6328	676	1070.75	1235.45	516	3539	2079.5
硫化氢	1.42	0.11	0.03	/	0.14	<0.02	0.21	0.18
偏硅酸	39.88	32.60	23.20	52.73	22.80	14.8	31	33.55
B	0.98	0.72	0.02	0.11	0.13	0.02	0.32	0.26
Br <sup>-</sup>	2.26	2.00	0.40	0.96	1.33	<0.01	2.4	0.1
I <sup>-</sup>	0.41	0.28	0.07	0.19	0.15	<0.01	0.26	0.03
Fe <sup>2+</sup>	2.04	206	1.7	0	3.83	6	7.97	7.45
Fe <sup>3+</sup>	0.27	11.8	0.2	0.12	<0.04	4.5	0.15	<0.04
K <sup>+</sup>	29.32	19	3.28	4.49	9.8	3.83	25.6	40.95
Na <sup>+</sup>	1393.91	984	130	326.25	226.73	35	880	304.5
Ca <sup>2+</sup>	82.6	918	48.4	22.8	109.27	78	196	163
Mg <sup>2+</sup>	19.2	55.6	20.3	13.33	42.97	12.4	42	37.2
Fe	1.05	11.8	1.9	0.16	2.78	10.5	8.12	7.45
As	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.004	0.01	0.01
Rn	10.33	165	5.11	未测	41.75	0.58	15.5	114.5
色度	<5	90	10	<5	26.67	<5	45	<5
浑浊度	<1	15	<1	<1	<1	<1	8	<1
臭味	无	强	无	无	无	无	无	无
肉眼可见物	无异物	无异物	无异物	无异物	无异物	无异物	无异物	无异物
Li	0.89	0.6	0.09	1.12	0.64	0.03	1.14	0.48
Sr	2.94	3.1	0.31	1.27	3.41	0.64	7.9	1.98
Zn	<0.01	0.2	0.2	<0.01	<0.01	0.18	4.8	0.18
Se	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
游离 CO <sub>2</sub>	124.85	399	19	无	21.54	16	204	316
Sb	<0.004	<0.01	<0.01	<0.004	<0.004	<0.01	<0.01	<0.01
Cu	<0.005	0.01	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Ba	0.04	0.09	0.25	1.92	0.63	0.15	0.07	0.14
Cr	<0.005	0.36	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01
Mn	0.08	3.12	0.09	0.03	0.11	0.32	0.11	0.12
Ni	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Ag	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
F <sup>-</sup>	6.38	4.21	0.91	0.57	0.47	2.3	3.07	3.34
挥发酚	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
氰化物	<0.002	<0.002	<0.002	<0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
矿物油	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
阴离子洗涤剂	<0.05	0.14	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cd	<0.0001	<0.001	<0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Pb	<0.001	0	0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Hg	<0.0001	0	0	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1221.82	825	25.3	1.2	137.28	13.3	560	144
总硬度	285.36	2521	205	111.75	449.82	246	663	560
COD	1.92	37.5	0.48	0.85	1.08	0.32	2.08	0.52
Cl <sup>-</sup>	735.36	2609	99	315	377.82	7.2	870	50.5

浓度单位:Rn 为 Bq/L,其他为 mg/L.



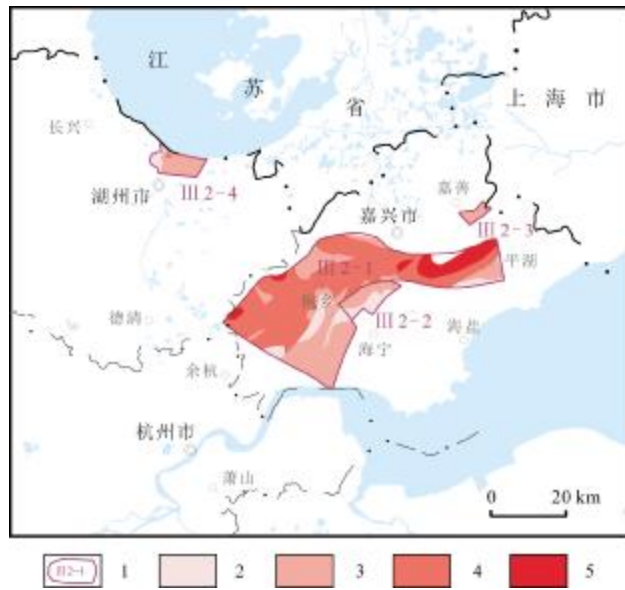


图2 地热资源温度计算分区

Fig. 2 Zonation of geothermal reservoir by temperature  
 1—地热分区 (geothermal zonation); 2—热储温度  $25 \leq t < 40 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperature  $25 \leq t < 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ); 3—热储温度  $40 \leq t < 60 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperature  $40 \leq t < 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ); 4—热储温度  $60 \leq t < 90 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperature  $60 \leq t < 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ); 5—热储温度  $90 \leq t < 150 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperature  $90 \leq t < 150 \text{ }^\circ\text{C}$ )

由地热资源评价结果(表3)可知,嘉兴地区地热储量为  $417.6 \times 10^{14}$  kJ,地热流体储存量为  $196.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地热流体可开采量为  $6\ 018 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ,地热流体可开采热量为  $1\ 073.08 \times 10^{10}$  kJ/a;湖州地区地热储量为  $21.58 \times 10^{14}$  kJ,地热流体储存量为  $15.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地热流体可开采量为  $10\ 846.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ,地热流体可开采热量为  $1\ 293.8 \times 10^{10}$  kJ/a. 研究区地热储量为  $439.18 \times 10^{14}$  kJ,地热流体储存量为  $212.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地热流体可开采量为  $16\ 864.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ,地热流体可开采热量为  $2\ 366.88 \times 10^{10}$  kJ/a.

(2) 地热流体不同用途评价

根据地热流体不同用途评价结果(表4),可知研究区地热水水质较好,水中有多项成分符合医疗热矿水水质标准.嘉兴地区地热水可命名为铁水、氩水、硅酸水等;王店凸起地热水降温后可用于农业灌溉;胥山凸起嘉热4井地热水可作为渔业用水.湖州地区地热水可命名为硫化氢水、铁水、氩水等,不适用于饮用天然矿泉水、生活饮用水、农业灌溉用水、渔业用水.

表3 地热资源评价结果

Table 3 Evaluation results of geothermal resources

行政区	地热分区	计算分区	温度范围/ ℃	评价面积/ km <sup>2</sup>	地热储量/ 10 <sup>14</sup> kJ	地热流体储存量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	地热流体可开采量/ 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	地热流体可开采热量/ 10 <sup>10</sup> kJ·a <sup>-1</sup>		
嘉兴	桐乡-平湖 凹陷	III 2-1a	25~40	568.75	6.52	14.77	59.1	4.18		
			40~60	318.4	6.61	8.65	34.6	4.53		
			60~90	121.04	4.36	2.57	10.3	2.24		
			90~150	86.38	4.92	1.38	5.5	1.96		
	王店凸起	III 2-2	25~40	31.09	7.53	8.49	42.4	3.04		
			40~60	46.92	21.55	12.81	64	8.73		
			胥山凸起	III 2-3	40~60	20.4	6.35	2.01	8	0.82
					分区合计			417.6	196.91	6018
	湖州	湖州盆地	III 2-4	25~40	15.05	2.34	3.25	3 664.1	213.79	
				40~60	54.32	18.49	11.73	4072	516.5	
60~90				1.54	0.75	0.33	3 110.7	563.51		
分区合计						21.58	15.31	10 846.8	1 293.8	
研究区合计					439.18	212.22	16 864.8	2 366.88		

表 4 地热水不同用途评价

Table 4 Evaluation of geothermal water usages

行政区	地热分区	理疗热矿水	饮用天然矿泉水	生活饮用水	农业灌溉用水	渔业用水
嘉兴	桐乡-平湖凹陷	铁水、氩水	不符合	不符合	不符合	不符合
	王店凸起	无	不符合	不符合	降温后符合	不符合
	胥山凸起	硅酸水	不符合	不符合	不符合	嘉热 4 井符合
湖州	湖州盆地	硫化氫水、铁水、氩水	不符合	不符合	不符合	不符合

表 5 地热资源开发利用评价

Table 5 Development and utilization Evaluation of geothermal resources

行政区	地热分区	现状温度分级	理疗矿泉水定名	开发利用方向
嘉兴	桐乡-平湖凹陷	Ⅲ级、Ⅳ级	铁水、氩水	旅游疗养、地热供暖
	王店凸起	Ⅳ级	无	地热供暖、农业种植(需降温)
	胥山凸起	Ⅳ级	硅酸水	旅游疗养、地热供暖、渔业养殖
湖州	湖州盆地	Ⅲ级、Ⅳ级、Ⅴ级	硫化氫水、铁水、氩水	旅游疗养、地热供暖

注:Ⅲ级,热水,60≤t<90℃;Ⅳ级,温热水,40≤t<60℃;Ⅴ级,温水,25≤t<40℃。

#### 4 开发利用评价与建议

##### 4.1 地热资源开发利用评价

###### (1)开发利用方案区划

综合以上评价结果,进行研究区地热资源开发利用方案区划,详见表 5。由表可知,研究区地热资源均属于低温地热资源,嘉兴地区整体温度高于湖州地区。嘉兴地区多为温热水、热水,湖州地区的地热水温度差异较大,温水、温热水、热水均有。地热水水质较好,含有多种有益成分,可用于旅游疗养、地热供暖、农业种植、水产养殖等。

###### (2)节能减排效益评估

以地热流体可开采热量评价结果为基础,参照《地热资源评价方法及估算规程》(DZ/T 0331—2020)附录 G<sup>[14]</sup>,进行研究区地热利用节能减排效益评估,结果如表 6、7 所示。

表 6 年减排量评估

Table 6 Evaluation of annual emission reduction

行政区	节约标准煤	CO <sub>2</sub> 减排量	SO <sub>2</sub> 减排量	NO <sub>x</sub> 减排量	悬浮质粉尘减排量
湖州	73.59	175.60	1.25	0.44	0.59
嘉兴	61.04	145.64	1.04	0.37	0.49
合计	134.63	321.24	2.29	0.81	1.08

单位:10<sup>4</sup> t/a。

表 7 年节省污染治理费评估

Table 7 Evaluation of annual savings in pollution control

行政区	CO <sub>2</sub> 治理费	SO <sub>2</sub> 治理费	NO <sub>x</sub> 治理费	悬浮质粉尘治理费
湖州	17 559.69	1 376.22	1 059.76	471.01
嘉兴	14 564.00	1 141.44	878.97	390.65
合计	32 123.69	2 517.66	1 938.73	861.66

单位:万元/a。

由表 6、7 可知,若将地热流体可开采量全部开发利用,研究区内每年可节约标煤 134.63×10<sup>4</sup> t;每年可减少 CO<sub>2</sub> 气体排放量 321.24×10<sup>4</sup> t,节约相应治理费 32 123.69 万元;每年可减少 SO<sub>2</sub> 气体排放量 2.29×10<sup>4</sup> t,节约相应治理费 2 517.66 万元;每年可减少 NO<sub>x</sub> 排放量 0.81×10<sup>4</sup> t,节约相应治理费 1 938.73 万元;每年可减少悬浮质粉尘排放量 1.08×10<sup>4</sup> t,节约相应治理费 861.66 万元。

##### 4.2 地热资源开发利用建议

杭嘉湖平原区是浙江省地热资源最为丰富的地区,现有地热井数量也为省内之最,但开发利用方向与模式较为单一。传统粗放的开发方式对地热资源的永续利用会造成不良影响,如过度集中开采造成的地热水水位下降<sup>[17]</sup>,若地热水随意排泄,其本身含有的诸

多典型组分也会对周边的土壤环境、地表水和地下水环境等带来负面影响<sup>[18]</sup>。在当前国家及地方相关政策的积极引领下,水热型地热发展将从单一、粗放利用为主转变为持续发展、梯级开发<sup>[19]</sup>,其开发利用需同时综合考虑所在地区的政策导向、发展规划、市场需求等因素,并且以资源保护为前提,做到开采与保护并重。基于前文的分析结果,提出以下开发利用建议:

提高地热资源开发的科学性、合理性。研究区热储类型多样,地热地质条件复杂,应以《浙江省自然资源发展“十四五”规划》《浙江省地质勘查“十四五”规划》为引领,进一步提高地热地质勘查评价研究水平,做到科学规划、合理开发。同时做好地热资源及其关联的生态环境保护,实现可持续的绿色发展。

湖州盆地地热区与湖州市太湖南岸旅游度假区存在重叠,嘉兴市则紧临上海和杭州。两地地理位置优越,自然风光优美,江南水乡、古镇云集,自身旅游资源得天独厚,其地热井单井水温和水量条件在全省处于前列,地热水水质较好,水中有益成分多样,可创造较大的旅游疗养价值。

研究区地热资源还可用于地热供暖。然而由于其赋存条件复杂多样,热储层出水能力差异较大,部分地热井温度较低或出水量较低(见表1),单一采用地热水作为热源或难以满足大范围、大面积的建筑群供暖需求。可结合入旅游业、特色农业、地质文化村等建设,形成综合开发模式。如开采的地热水可采用间接换热的模式,用于建筑或农业大棚供暖后,再进行温泉洗浴开发。另外,杭嘉湖平原地区浅层地热能条件优良、资源丰富<sup>[20-21]</sup>,可以与水热型地热资源形成深浅结合的开发利用模式。此外,地热资源的开发利用还可结合热泵技术、太阳能技术、空气能技术等清洁能源技术<sup>[22]</sup>,形成“地热+”复合开发模式。

## 5 结论

在已有研究成果的基础上,通过对杭嘉湖平原区水热型地热资源的综合评价,得出结论如下:

(1)研究区地热资源储存量为 $439.18 \times 10^{14}$  kJ,地热流体储存量为 $212.22 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,地热流体可开采量为 $16\ 864.8 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/a,地热流体可开采热量为 $2\ 366.88 \times 10^{10}$  kJ/a,主要分布于嘉兴地区的嘉兴市、嘉善县、桐乡市、海宁市、平湖市和湖州市吴兴区。区内地热水可命

名多项理疗热矿水;王店凸起地热水降温后可用于农业灌溉;胥山凸起地热水可用于水产养殖。

(2)研究区地热资源为低温地热资源,地热水水质较好,含有多种有益成分,可用于旅游疗养、地热供暖、水产养殖等。若将地热流体可开采量全部开发,每年可节约标煤 $134.63 \times 10^4$  t,减少CO<sub>2</sub>气体排放量 $321.24 \times 10^4$  t,减少SO<sub>2</sub>气体排放量 $2.29 \times 10^4$  t,减少NO<sub>x</sub>排放量 $0.81 \times 10^4$  t,减少悬浮质粉尘排放量 $1.08 \times 10^4$  t,节省污染治理费共计3.74亿元。

(3)研究区水热型地热资源水质、水量、水温条件在全省均处于前列,可创造较大的旅游疗养价值,还可以结合入特色农业、地质文化村等建设中,形成梯级综合利用模式。如结合区内丰富的浅层地热能资源形成深浅结合的利用模式,结合热泵技术、太阳能技术、空气能技术等清洁能源技术形成“地热+”复合开发模式。

(4)地热资源的开发利用应做到开采与保护并重,今后应进一步提高地热地质勘查评价研究水平,做到科学规划、合理开发,同时做好地热资源及其关联的生态环境保护,实现可持续的绿色发展。

## 参考文献(References):

- [1]张薇,王贵玲,刘峰,等.中国沉积盆地型地热资源特征[J].中国地质,2019,46(2):255-268.  
Zhang W, Wang G L, Liu F, et al. Characteristics of geothermal resources in sedimentary basins[J]. Geology in China, 2019, 46(2): 255-268.
- [2]王贵玲,陆川.碳中和目标驱动下地热资源开采利用技术进展[J].地质与资源,2022,31(3):412-425,341.  
Wang G L, Lu C. Progress of geothermal resources exploitation and utilization technology driven by carbon neutralization target [J]. Geology and Resources, 2022, 31(3): 412-425,341.
- [3]马冰,贾凌霄,于洋,等.世界地热能开发利用现状与展望[J].中国地质,2021,48(6):1734-1747.  
Ma B, Jia L X, Yu Y, et al. The development and utilization of geothermal energy in the world[J]. Geology in China, 2021, 48(6): 1734-1747.
- [4]张健,方桂,何雨蓓.中国东部地热异常区深层高温分布特征与动力学背景[J].地学前缘,2023,30(2):316-332.  
Zhang J, Fang G, He Y B. High-temperature characteristics and geodynamic background at depth of geothermal anomaly areas in eastern China[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(2): 316-332.
- [5]朱戈,刘绍文,李香兰,等.长江下游区域地温场特征及其能源意义[J].地学前缘,2020,27(1):25-34.

- Zhu G, Liu S W, Li X L, et al. Geothermal regime of the lower reaches of Yangtze River and implications for resource exploration[J]. *Earth Science Frontiers*, 2020, 27(1): 25–34.
- [6]张萌, 杨豪, 彭振宇, 等. 浙江省区域地质背景及地热资源赋存特征[J]. *科学技术与工程*, 2016, 16(19): 30–36.
- Zhang M, Yang H, Peng Z Y, et al. The regional geological background and occurrence characteristics of geothermal resources in Zhejiang Province[J]. *Science Technology and Engineering*, 2016, 16(19): 30–36.
- [7]冯一维. 杭嘉湖地区地下热水的地质分析[J]. *浙江国土资源*, 2005(6): 40–43.
- Feng Y W. Geological analysis of geothermal water in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou area[J]. *Zhejiang Land & Resources*, 2005(6): 40–43. (in Chinese)
- [8]林清龙, 林楠, 马宏杰, 等. 不同赋存环境下浙江省热水水文地球化学特征[J]. *科学技术与工程*, 2017, 17(25): 1–6.
- Lin Q L, Lin N, Ma H J, et al. Hydrogeochemical characteristic of geothermal water in different storage environment in Zhejiang Province[J]. *Science Technology and Engineering*, 2017, 17(25): 1–6.
- [9]胡宁, 张良红, 高海发, 等. 浙江省杭嘉湖平原地热资源勘查靶区圈定与钻探验证[J]. *中国地质*, 2011, 38(1): 138–144.
- Hu N, Zhang L H, Gao H F, et al. Target delineation and drilling verification of geothermal resources exploration in Hangjiahu Plain of Zhejiang Province[J]. *Geology in China*, 2011, 38(1): 138–144.
- [10]胡宁, 高海发, 张良红, 等. 浙江省嘉兴地区地热地质条件分析与验证[J]. *上海地质*, 2010, 31(S1): 254–257.
- Hu N, Gao H F, Zhang L H, et al. The analysis and verification of geological conditions of geotherm in Jiaxing City, Zhejiang Province[J]. *Shanghai Geology*, 2010, 31(S1): 254–257.
- [11]朱华雄. 论太湖南岸“地热田”及地热勘查方向[J]. *中国煤炭地质*, 2018, 30(2): 44–49.
- Zhu H X. Taihu Lake's southern shore “geothermal field” and geothermal prospecting orientation[J]. *Coal Geology of China*, 2018, 30(2): 44–49.
- [12]蔡旭梅, 朱华雄, 严金叙. 浙江省湖州地区地热资源储存特征及开发利用方向分析[J]. *中国煤炭地质*, 2013, 25(7): 37–41, 58.
- Cai X M, Zhu H X, Yan J X. Geothermal resource reservoiring characteristics and exploitation, utilization trend analysis in Huzhou area, Zhejiang Province[J]. *Coal Geology of China*, 2013, 25(7): 37–41, 58.
- [13]严金叙, 严红生, 朱华雄, 等. 浙江湖州太湖南岸地热资源研究[J]. *中国煤炭地质*, 2011, 23(4): 41–47.
- Yan J X, Yan H S, Zhu H X, et al. A study on geothermal resource in south bend area of Taihu Lake, Huzhou, Zhejiang[J]. *Coal Geology of China*, 2011, 23(4): 41–47.
- [14]中华人民共和国自然资源部. DZ/T 0331—2020 地热资源评价方法及估算规程[S]. 北京: 地质出版社, 2020.
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0331—2020 Specification for estimation and evaluation of geothermal resources[S]. Beijing: Geological Publishing House, 2020. (in Chinese)
- [15]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB11615—2010 地热资源地质勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB11615—2010 Geologic exploration standard of geothermal resources[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [16]中国地质调查局. 全国地热资源调查评价与区划技术要求(试行)[S]. 2014.
- China Geological Survey. Technical requirements for national geothermal resources investigation evaluation and regionalization (trial implementation)[S]. 2014. (in Chinese)
- [17]孟祥玲, 王庆兵, 杨培杰. 山东省地热资源开发利用现状调查与问题分析[J]. *山东国土资源*, 2021, 37(11): 36–42.
- Meng X L, Wang Q B, Yang P J. Investigation and problem analysis on development and utilization of geothermal resources in Shandong Province[J]. *Shandong Land and Resources*, 2021, 37(11): 36–42.
- [18]郭清海. 地热系统来源有害组分的环境效应及其处理[J]. *地质学报*, 2022, 96(5): 1767–1773.
- Guo Q H. Environmental effects of harmful constituents derived from geothermal systems and their treatments[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2022, 96(5): 1767–1773.
- [19]王贵玲, 刘彦广, 朱喜, 等. 中国地热资源现状及发展趋势[J]. *地学前缘*, 2020, 27(1): 1–9.
- Wang G L, Liu Y G, Zhu X, et al. The status and development trend of geothermal resources in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2020, 27(1): 1–9.
- [20]王婉丽, 王贵玲, 朱喜, 等. 中国省会城市浅层地热能开发利用条件及潜力评价[J]. *中国地质*, 2017, 44(6): 1062–1073.
- Wang W L, Wang G L, Zhu X, et al. Characteristics and potential of shallow geothermal resources in provincial capital cities of China[J]. *Geology in China*, 2017, 44(6): 1062–1073.
- [21]马宏杰, 林清龙, 毛汉川, 等. 浙江省嘉兴市浅层地温能资源量评价研究[J]. *中国矿业*, 2015, 24(S1): 202–205.
- Ma H J, Lin Q L, Mao H C, et al. The evaluation of shallow geothermal energy resources of Jiaxing in Zhejiang Province[J]. *China Mining Magazine*, 2015, 24(S1): 202–205.
- [22]陈焰华, 於仲义. 从建筑碳排放达峰看地热能的技术特性[J]. *暖通空调*, 2022, 52(1): 75–80.
- Chen Y H, Yu Z Y. Study on technical characteristics of geothermal energy from building carbon emission peak[J]. *Journal of HV & AC*, 2022, 52(1): 75–80.