

# 威海市刘公岛地热地质特征

王仕昌<sup>1</sup>, 王晓媛<sup>2</sup>, 王海宁<sup>1</sup>, 邱恺毅<sup>1</sup>

(1. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

**摘要:**通过对刘公岛地热资源地质勘查, 区内岩浆活动强烈, 断裂切割深度大, 破碎宽度大, 有一定汇水区的局部地温异常区, 具备形成地热的条件。刘公岛地热温泉属于温热水型低温地热资源, 其水质属于锍型低温水型矿水, 适宜洗浴、理疗、保健, 可与刘公岛旅游资源开发密切结合。

**关键词:**地热; 地质特征; 威海刘公岛

中图分类号: P314. 1

文献标识码: A

## 0 引言

刘公岛位于山东半岛东端黄海之滨的威海湾内, 东西长 4.08 km, 南北最宽处 1.5 km, 最窄处 0.06 km, 面积 3.15 km<sup>2</sup>, 距威海市区 2.1 海里 (3.89 km)。刘公岛自然风光优美, 素有“海上仙山”和“世外桃源”的美誉。岛上峰峦叠起, 植物茂密, 森林覆盖率达 87%, 1985 年, 刘公岛由封闭的军事禁区正式对外开放。1992 年被国家林业局公布为“国家森林公园”。刘公岛空气清新, 冬暖夏凉, 气候宜人, 年平均气温 12℃ 左右, 是避暑、度假、疗养的理想之地。

从区域地热地质条件看, 刘公岛紧邻威海市遥感解译 I 类地热异常区, 是地热赋存的有利地带和地热成矿远景区; 并且区内岩浆活动强烈, NW 向及 NE 向断裂构造发育, 区内地热地质条件与威海市宝泉汤温泉有相似之处, 因而具有较大的地热资源勘查开发价值。

## 1 地热田地热地质条件

刘公岛地处于胶东半岛的东端, 在大地构造位置上位于中央造山区大别-苏鲁造山带鲁东南折返带威海断拱威海凸起的东北部<sup>[1]</sup>; 区内岩石主要有侵入岩、变质岩组成, 地层不发育, 构造以断裂为主。

乳山-威海凸起是胶东东部地区最大的地质构

造骨架之一, 沿该凸起东翼已有多处温泉出露。

自中生代以来, 受燕山期地壳运动的影响, 形成了大规模的深大断裂, 使上地幔物质上涌或沿深大断裂侵入到地壳浅部, 从而形成了区域温度或热流值普遍升高的背景。深大断裂带附近成为热水富集的主要区域。地下热水既有原生沉积水, 也有大气降水补给成因水。大气降水经过入渗径流, 在漫长的地质时期内, 沿断裂带和孔隙、裂隙经地壳深部的循环运移, 被围岩加热并与围岩发生水盐反应, 溶解矿物质及微量元素形成地热水。

区内的 NW 向断裂及 NE 向断裂构造是该大凸起的次级构造。这 2 组断裂在区内控制着区内地热流体的形成、赋存与运移。区内地热资源属深循环对流型。热储为花岗岩的构造破碎带或裂隙带, 热储呈带状或点状分布, 受构造控制明显, 区内的 2 组构造具导热、导水的性能。威海市内的宝泉汤温泉、洪水岚汤温泉就出露在 NW 与 NE 向断裂的交会部位。

根据地质构造并结合刘公岛地球物理场特征分析研究, 在刘公岛东村施工地热井一眼, 井深 1 587.2 m, 盖层封孔至 506.0 m, 以下为基岩天然井壁, 热储层深度为 1 200.0 ~ 1 500.0 m。该孔洗井结束及抽水试验结束后形成自流, 自流量约 6 m<sup>3</sup>/d, 静止水位埋深为 +0.03m; 水位降深 175.0m,

水量为  $400 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水口水温为  $40.0^\circ\text{C}$ ①。

## 2 地热流体化学特征

刘公岛地热来源于地球内部与地球的结构和物质组成密切相关, 地下热水的水化学成分取决于水的温度、含水层的岩性以及与水伴生的气体。地下水参与自然界中水的总循环, 其水文地球化学作用主要是溶滤作用, 化学成分主要决定于热水出露处第四系岩性成因, 以及循环深度内的基底岩性和来自深部气体的影响。

水质分析资料显示地热水中  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  含量均较高, 结合地热井所处的环境, 钻井所揭露的地层分析可知: 此地热井中地热水主要来源于大气降水部分来源于海水, 它们一起通过深大断裂构造径流循环, 形成地热异常, 后在片麻状细粒黑云二长花岗岩岩体裂隙和构造裂隙带中富集。

## 3 地热热储模型

刘公岛地热温泉属于温热水型低温地热资源。地热田的形成机理是: 岩浆侵入地壳形成规模较大的岩浆热源体后, 随着温度、压力的下降产生结晶分异作用, 使岩浆中的水分含量不断增加, 蒸汽压力逐渐增大, 它一方面通过热传导加热上部的岩石, 再由这些岩石使深部循环水变热; 另一方面可能有部分岩浆蒸气沿着岩石的微细空隙向上渗透进入深循环水中, 使水温增高。当热水系统的上部不存在隔水盖层时, 只要温度梯度、渗透通道的深度足以能维持水的热对流循环时, 即可形成由补给、加热(热储)及排泄等部分组成的地热田(图1)。

## 4 地热流体质量评价

### 4.1 地热流体水质评价

(1) 理疗热矿水评价: 按照《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615-2010) 理疗热矿水水质标准, 刘公岛地热水, 氟、溴、锶、偏硅酸、温度均达到和满足“理疗热矿水水质标准”中“有医疗价值浓度”标准; 溴、偏硅酸均超过“矿水浓度”但低于“命名矿水浓度”标准, 只有锶元素含量  $43.65 \text{ mg/L}$  达到“命名矿水浓度”标准 ( $10 \text{ mg/L}$ ), 可命名为“锶型低温温热水型矿水”<sup>[2]</sup>, 刘公岛温泉矿化度为  $4\ 217.4 \text{ mg/L}$ , 属于咸水。

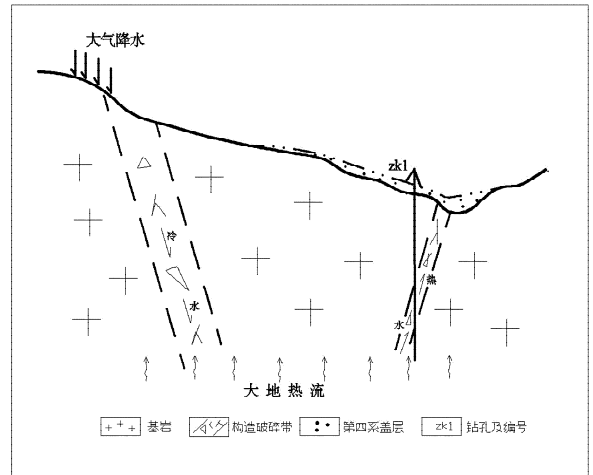


图1 刘公岛地热热储模型示意图

(2) 饮用天然矿泉水评价: 依据《饮用天然矿泉水标准》(GB8537-2008) 进行饮用热矿水水质评价。刘公岛温泉感官要求, 色度、嗅和味符合要求, 但浑浊度、可见物不符合要求; 理化指标中界限指标, 锶含量平均  $43.65 \text{ mg/L}$ , 大于  $0.2 \text{ mg/L}$  的界限指标; 偏硅酸平均  $40.79 \text{ mg/L}$ , 大于  $25.0 \text{ mg/L}$  的界限指标; 达到饮用矿泉水标准, 但是锌、硒、游离  $\text{CO}_2$ 、锰等不符合限量指标及污染物指标的规定<sup>[3]</sup>。

(3) 生活饮用水评价: 依据《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006), 其水质浑浊度、肉眼可见物、铁、锰、氯化物、硫酸盐、总硬度等均不能满足国标要求, 因而刘公岛地热温泉水不能作为生活饮用水<sup>[4]</sup>。

(4) 农业灌溉用水评价: 依据《农业灌溉水质标准》(GB5084-2005), 热水中水全盐量  $4\ 185.86 \text{ mg/L}$ , 氯化物  $2\ 244.07 \text{ mg/L}$ , 分别超出国家标准 1 倍和 5 倍, 故不宜直接进行农田灌溉<sup>[5]</sup>。

### 4.2 地热流体腐蚀性与结垢评价

(1) 地热流体腐蚀性: 利用拉申指数计算式:

$$LI = \frac{\text{Cl} + \text{SO}_4}{\text{ALK}}$$

式中:  $LI$  为拉申指数;  $\text{Cl}$  为氯化物浓度 ( $\text{mg/L}$ );  $\text{SO}_4$  为硫酸盐浓度 ( $\text{mg/L}$ );  $\text{ALK}$  为总碱度 ( $\text{mg/L}$ )。

以上 3 项以等当量的  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{mg/L}$ ) 表示。经计算刘公岛地热流体为  $42.56$ , 大于  $10$ , 按照《地热

① 山东省物化探勘查院, 王聿军等, 山东省威海市刘公岛地区地热资源普查报告, 2013 年。

资源地质勘查规范》(GB/T11615-2010)判定为强腐蚀性水。

(2) 地热流体结垢评价, 根据锅垢总量计算公式:

$$H_0 = S + C + 36\gamma\text{Fe}^{2+} + 17\gamma\text{Al}^{3+} + 20\gamma\text{Mg}^{2+} + 59\gamma\text{Ca}^{2+}$$

式中:  $H_0$  为锅垢总量 (mg/L);  $S$  为水中悬浮物含量 (mg/L);  $C$  为胶体 ( $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) (mg/L);  $\gamma\text{Fe}^{2+}$ ,  $\gamma\text{Al}^{3+}$ ,  $\gamma\text{Mg}^{2+}$ ,  $\gamma\text{Ca}^{2+}$  分别为  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  离子含量的每升毫克当量 (毫摩尔) 数。

经计算:  $H_0 = 3\ 221.98$  (mg/L),  $> 500$  (mg/L), 属锅垢很多的水。

## 5 地热资源开发利用现状与开发前景

### 5.1 开发利用现状

威海地区地热泉因温度较高, 易开采, 开发利用较早 (可追溯至明、清年间) 而著称。近年来, 随着科学技术的迅速发展, 探测技术的进步, 人们对地热资源的认识逐渐加深, 地热能作为一种可供利用的并有着巨大发展远景的新能源, 逐步引起人们的重视。威海市刘公岛地区及附近地热点现共有地热开采企业 21 家, 年开采地热 40.18 万  $\text{m}^3$ 。主要用于洗浴、医疗、保健、养殖。宝泉汤依据优越的地位优势, 开发利用程度较高。但刘公岛地热因各种条件的限制开发起步晚, 目前尚处于勘查阶段。

### 5.2 开发前景

地热资源是一种“绿色能源”, 在目前资源紧张, 人们环保意识增强的情况下, 威海市地热源因其易开采, 污染小, 做为一种替代能源具有很大的优势。据初步估算, 威海市刘公岛地区地热源可采量达  $9.23 \times 10^{15}$  J, 折合为标准煤 31.49 万 t, 如能充分合理开发利用, 将极大地带动地方经济发展。

威海, 自古以来就是一个令人向往的地方。刘公岛是威海的海上仙山, 风光秀美, 地理位置优越。有胶济铁路相连交通便利, 特别是威海—乌海、威海—青岛, 同江—三亚高速公路的开通, 推动了该地经济建设的迅猛发展。威海是中国第一个优秀旅游

城市群, 两度获得“国际迪拜改善居住环境最佳范例城市”称号, 是 2003 年度全球唯一获得“联合国人居奖”的城市, 2006 年, 被命名为“中国温泉之乡”。位于经济开发和旅游胜地的刘公岛地区更是独具特色, 这里地热温泉富含多种稀有元素和具理疗作用的放射性元素等指标在“中国温泉之乡”独占鳌头, 因此应提高档次, 集洗浴、理疗、保健、娱乐于一体, 让来威海旅游的客人在领略威海优美的天然风光、人文景观后洗洗温泉浴, 做做理疗保健, 可以成为旅游的新亮点。同时应加大热水养殖的力度, 采用新方法, 新技术, 提高养殖规模, 还应进行地热在农业应用方面的研究, 充分利用地热资源。

## 6 结论

(1) 刘公岛紧邻威海市遥感解译 I 类地热异常区, 是地热赋存的有利地带和地热成矿远景区。通过地热地质调查, 并利用视电阻率联合剖面、可控源音频大地电磁 (CSAMT) 测深工作分析研究认为, 在区内断裂切割深度大、破碎宽度大, 有一定汇水区的局部地温异常区, 具备形成地热的条件。根据以上方法确定的刘公岛东村地热井 (井深 1 587.2 m, 水量  $400 \text{ m}^3/\text{d}$ , 水温  $40.0^\circ\text{C}$ ), 进一步说明了刘公岛具有地热资源的形成条件。

(2) 刘公岛地热温泉属于锗型低温温水型矿水, 适应于洗浴、理疗、保健, 可与刘公岛旅游资源开发密切结合。

(3) 刘公岛具有地热资源形成的条件, 建议进一步投资进行地热资源勘查, 以充分利用开发刘公岛的地热资源。

## 参考文献:

- [1] 宋明春. 山东省地质矿产图集 [M]. 济南: 山东省地图出版社, 2012: 10-11.
- [2] GB/T11615-2010. 《地热资源地质勘查规范》[S].
- [3] GB8537-2008. 《饮用天然矿泉水标准》[S].
- [4] GB5749-2006. 《生活饮用水卫生标准》[S].
- [5] GB5084-2005. 《农业灌溉水质标准》[S].

## Geological Characteristics of Geothermal Resource in Liugongdao of Weihai City

WANG Shichang<sup>1</sup>, WANG Xiaoyuan<sup>2</sup>, WANG Haining<sup>1</sup>, QIU Kaiyi<sup>1</sup>

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** Through geological exploration of geothermal resources in Liugongdao. Magmatic activity in this area is strong, fracture zone cutting depth and width of broken are large, and local geothermal anomaly. These are conditions of geothermal forming. Geothermal springs in Liugongdao are low - temperature geothermal resources. Its water quality belongs to strontium type low - temperature mineral water, and adapted to bath, physiotherapy and health care. It may be closely linked with the development of tourism resources in Liugongdao area.

**Key words:** Geothermal; geological characteristics; Liugong island in Weihai city