

鲁山地热温泉传热机理分析

张庆¹, 宾朝晖², 许永吉³, 罗绍河¹, 钱家忠⁴

(1. 河南理工大学资源环境学院, 河南焦作, 454000, Email: zhangqing1976@vip.163.com; 2. 河南省地质科学研究所, 郑州, 450001; 3. 河南省地矿局第五地质勘查院, 郑州, 450001; 4. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥, 230009, Email: qianjiazhong@hfut.edu.cn)

摘要: 地热资源是一种新型能源, 其开发利用对环境危害小, 且资源分布广泛, 可以改变目前以化石能源为主的能源消费现状。研究地热能源的赋存、构造及传热机理, 对于地热的有效利用, 具有重要的意义。河南省鲁山县地热温泉资源丰富, 犹以上汤、中汤、下汤、温汤、碱场等五大温泉带, 最为著名。本文从构造控热、地球物理、热储类型、热源分析等方面进行研究, 分析了鲁山地热温泉的地质成因及传热机理。

关键词: 鲁山地热; 温泉带; 地质构造; 热传递机理

1 引言

能源是人类社会存在与发展的物质基础, 当前能源问题已逐渐成为制约我国经济和社会发展的重要因素。能源生产和消费革命的根本出路在于可再生清洁能源。与煤、石油、天然气和核能相比, 地热能是近乎取之不尽的可再生清洁能源。与太阳能、风能等可再生能源相比, 地热能具有稳定、利用率高、安全、运行成本低、可综合利用等优点^[1]。

河南省鲁山县地热资源十分丰富, 有上汤、中汤、下汤、温汤、碱场五大温泉群, 自县城到石人山脚下形成百里温泉带。温泉水平均温度为 61~63℃, 水中含有硼、锂、氟、镭、氡等 10 多种微量元素, 具有较高的洗浴价值。吕志涛、郭文秀、卢磊等从地质条件、地球化学等角度, 分析过鲁山下汤、百里温泉成因, 认为车村-下汤断裂带是鲁山温泉形成的主要控热构造^[2-4]。EH4 电磁法在地热勘探以及鲁山地热勘探开发中, 都起到了较好的效果^[5]。

本文尝试从地质构造角度, 分析鲁山地热传热机理。

2 鲁山温泉地质背景及地热特征

2.1 鲁山地热温泉地质背景

河南省位于华北和扬子两大板块之间，由于扬子板块向华北板块俯冲、碰撞，秦岭成为著名的陆间造山带。华北板块南缘的栾川-确山-固始深断裂为其造山带的北界，扬子板块北缘的襄樊-广济深断裂为其造山带的南界。本地热区位于华北板块的南缘，车村-下汤深大断裂的东段南侧（车村-下汤断裂为栾川-确山-固始深断裂的组成部分）。车村-下汤深大断裂与南部的二郎庙-温汤庙断裂及水磨庄-栗村断裂之间，不同方向，不同性质的次级断裂极其发育，它们与主干断裂共同组成复杂的東西向断裂带。断裂带内有较多的硅化岩带，萤石脉及少量蛋白石、重晶石、方解石脉。硅化岩带和上述岩脉均属低温热液作用形成，是水热强烈活动的证据。硅化出现在导热构造处，硅化强烈处热水富水性较好，上述硅化岩及岩脉主要分布在晋宁期、燕山期花岗岩及中元古界熊耳群安山玢岩的断裂带之中。断裂带以外，则分布较少。说明该断裂带在每次岩浆侵入和断裂活动时期，都伴随有一定的热液活动。在一些岩脉中还可以看到2~3个生长层，并有石英晶簇形成，每一生长层可代表一次热液活动，说明这些岩脉是由多次热液活动形成的。上述研究表明，该东西向断裂带不仅经多次活动，而且也是热液活动带或地热活动带，它严格控制着鲁山地热（温泉）的形成和出露。

鲁山五大温泉均位于车村-下汤断裂带南侧，距车村-下汤断裂820~3000m不等，上汤、中汤、下汤及碱场温泉以10.5~10.8km呈等间距出露，可以看出，鲁山五大温泉受控于车村-下汤断裂，也受控于北东向和北西向断裂，车村-下汤断裂为一级控热、导热构造，是深部热源向上对流的主要通道；北东向和北西向断裂为二级控热、导热构造，控制五大温泉的分布及出露。

2.2 鲁山五大温泉地热特征

2.2.1 地热类型

地热类型一般划分为对流型、传导型及混合型3种类型。鲁山五大温泉具有对流型地热特征。对流型地热主要是地下热水沿断裂通道上涌而形成地热异常，地热异常的分布严格受断裂构造尤其是晚近时期的活动性断裂构造控制。由于地下热水沿断裂通道上升速度快，沿途热量散失小，地表热异常明显，其分布范围及展布方向清楚，地热异常带与外围的温差较大，地温梯度也大大超过正常梯度值。

上汤、中汤、下汤水温均大于60℃小于90℃，属于低温地热资源中的热水类，温汤、碱场水温小于60℃大于40℃，属于低温地热资源中的温热水类。

2.2.2 热储类型

热储类型一般分为裂隙脉状热储和层状孔隙热储或两者的混合型。鲁山五大温泉均受断裂构造控制，属裂隙脉状热储。上汤、温汤温泉热储层由中元古界侵入的片麻状花岗岩

组成,中汤、下汤温泉热储层由中生界早白垩世侵入的花岗岩组成,碱场温泉热储层由中元古界熊耳群安山玢岩组成,地下热水属裂隙脉状承压水。由于地下热水是沿陡倾斜或近直立的断裂破碎带运移上升,热储分布面积不大,往往沿断裂呈条带状、脉状分布,且宽度有限。沿水平方向,岩石的渗透性及富水性变化较大,断裂带附近的渗透性及富水性较好,温泉温度也较高,形成所谓的“断层含水带”。远离断裂带,则渗透性及富水性较差,含水微弱或不含水,可视为阻水边界。

2.2.3 热储结构

鲁山五大温泉热储结构比较简单。碱场温泉区第四系松散覆盖层 13.6~17m,上汤、中汤、温汤、下汤温泉区覆盖层厚约 1~4m。因此,鲁山地热(温泉)热储层均无良好隔热保温盖层。由于无盖层,地下热水沿断裂通道从深处向地表运移,直接出露地表形成温泉或在其上方形成仅有薄层覆盖的地热异常。

地热水化学类型可分为火山岩浆型、隆起断裂型及沉降盆地型三种^[6]。鲁山温泉地热水属于隆起断裂型地热水。

2.2.4 热储温度

1997 年上汤地热井水质测试资料,采用 K-Na 温标计算的热储温度为 149.34℃,采用图解法求解的热储温度为 157.0℃^[7]。本次在碱场实测温度为 48℃,低于上述图解法的热储温度,推测其原因是上部浅层地下水与地下热水混合所致。

2.2.5 补给、径流、排泄条件

隆起断裂型地热水,补给通过大气降水。早期通过地热水氢、氧同位素研究表明,大多数地热水是当地的大气降水补给;从鲁山温泉水质分析资料来看,也说明鲁山温泉主要是由大气降水补给的。大气降水沿构造裂隙或断裂破碎带下渗,经过深部循环加热,再沿断裂通道上升,形成局部地热异常或者溢出地表形成温泉。其补给、径流、储存及排泄条件,严格受断裂构造控制。据上汤、中汤、下汤、碱场地热井(上汤钻孔自流量达 137.29m³/h,最大水头高出地面 15.58m)分析,上汤、中汤、温汤、下汤、碱场地热(温泉)具有补给源充足,热储渗透性好,径流强的特点。鲁山各温泉所含离子基本相同,各离子含量比较接近,说明它们具有相似的补给源、径流和排泄途径,具有一定的水力联系。

3 鲁山地热(温泉)地质特征(以中汤、温汤温泉为例)

3.1 中汤、温汤温泉概况

中汤温泉出露于沙河北岸中汤村,位于上汤地热(温泉)东 10.5km 处,海拔标高 221m,高出沙河 8.3m。中汤温泉以泉群形式产出,由于修筑公路,泉眼已被覆盖,泉水引入池中以供利用。据前人观测资料,水温 61~63℃,实测温度 60℃(泉水引入池中,温度有所降低)。根据当地取水构筑物用水量调查统计,开采量平均 240.0m³/d;该处温泉南部约 20m

处地热井实测水温 63℃，实测流量 3.94m³/h，详见鲁山县地热温泉观测记录表 1。

温汤温泉位于沙河南岸一级阶地后缘，海拔标高 220m，距中汤温泉 820m，两泉隔河相望。据前人实测流量 2.2m³/h，水温 49℃。由于泉水引入池中以供利用，本次实测温度有所降低，为 39~40℃，流量受条件限制无法准确测量，根据当地取水量统计约 2.0m³/h。

表 1 鲁山县地热温泉观测记录表(温汤、中汤)

日期	温汤		中汤			
	自流温泉		自流温泉		自流热水井	
	Q(m ³ /h)	t(°C)	Q(m ³ /h)	t(°C)	Q(m ³ /h)	t(°C)
2008.11.25	2	42	10	50	4	53
2008.12.25	2	40	10	50	4	53
2009.01.26	2	40	10	49	4	53
2009.02.25	2	40	10	50	4	53
2009.03.25	2	39	10	50	4	53
2009.04.26	2	39	10	50	4	53
2009.05.25	2	39	10	50	4	53
2009.06.25	2	39	10	50	4	53
2009.07.26	2	39	10	50	4	53
2009.08.26	2	40	10	50	4	53
2009.09.25	2	39	10	50	4	53
2009.10.25	2	39	10	50	4	53
2009.11.26	2	39	10	50	4	53

3.2 中汤、温汤温泉地质构造特征

中汤温泉出露于中生界侵入的中斑状中粒黑云母二长花岗岩中，地表有薄层坡洪积物覆盖。距下汤断裂 1420m(图 1)。

温汤温泉出露于中元古界侵入的片麻状含中斑中粒黑云母钾长花岗岩中，北距车村-下汤断裂 2240m。裴家庄断裂(F3-2)从中汤东 750m 和温汤庙东 250m 处通过，断裂走向 45°，倾向 65°，沿断裂带有萤石脉、方解石脉、石英脉充填；中汤-张家庄断裂(F3-3)从中汤村中通过，断裂走向 60°，倾向北西，倾角 53°，张家庄北东 100m 以东沿断裂带有多条萤石脉，中汤-照北石沟段沙河即沿次断裂发育；中汤-大庄断裂(F3-4)从中汤温泉南侧通过，断裂走向 45°，沿断裂带为宽 20m 左右的高岭土蚀变带，该断裂在中汤与中汤-张家庄断裂处交汇，中汤西北 100~200m 距离内发育 3 条北东向断裂，沿断裂有萤石脉和硅化带，卫片上还清楚的显示出沿蛾沟发育有一条北西向断裂，该断裂在温汤温泉附近与二郎庙-温汤庙断裂交汇。据前人调查，该断裂走向 355°，倾向南东，倾角 77°，断裂带宽 6.6m，可见摩擦镜面、断层泥、断层角砾岩、硅化岩。

根据上述情况，说明中汤、温汤地热（温泉）断裂构造极其发育，热液活动明显，中汤温泉明显的受到中汤-大庄断裂控制，温汤温泉明显的受到蛾沟-温汤庙断裂控制。中汤-大庄断裂与中汤-张家庄断裂及二郎庙-温汤庙断裂与蛾沟-温汤庙断裂的交汇，为中汤温泉和温汤温泉的出露提供了有利的构造条件。

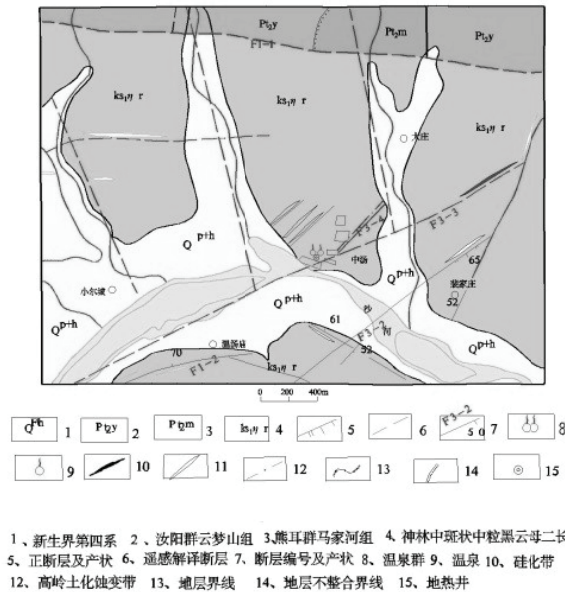


图1 中汤、温汤地热田地质构造

3.3 中汤、温汤温泉地球物理特征

在沙河南岸布设近东西向剖面一条，长 1000m，点距 50~100m，共测 16 个点。从剖面图上看，在剖面起点到 700m 存在一深约 500m 的凹陷，在深约 800m 的深度有一带状低阻带，卡尼亚电阻率为 $350\Omega \cdot m$ ，推测为含水构造破碎带，或是中元古界侵入岩与太华群变质岩的接触带上，由于该层原始裂隙发育，且受到后期断层的影响，岩石破碎含水。

4 结论

鲁山地热（温泉）出露于车村-下汤深大断裂带之中，该断裂带由北部车村-下汤断裂和南部二郎庙-温汤庙、水磨庄-栗村断裂及其间密集分布的与之平行的近东西向和与之斜交的北东、北西向断裂组成。车村-下汤深大断裂和二郎庙-温汤庙、水磨庄-栗村断裂构成的鲁山温泉的水、热活动边界。近东西向的车村-下汤深大断裂为一级控热导热构造，是深

部热源向上对流的主要通道；北东向和北西向的次级断裂为二级控热导热构造，控制着鲁山地热温泉的出露，碱场地热（温泉）热储岩性为安山玢岩，其他各地热（温泉）热储岩性为花岗岩。

在温泉带的 EH4 大地电磁测深时，在地下 600~800m 均发现有低阻层，推测为地下热水的储水层。鲁山地热（温泉）属隆起断裂型、对流型、无良好隔热保温盖层的裂隙脉状承压地热水；根据动态观测资料，鲁山地热温泉的水温和水量基本不受季节影响。

致谢

本文得到国家自然科学基金项目（41831289；41772250）以及安徽省公益性地质调查项目（2015-g-26）支持，在此一并致谢。

参考文献

- 1 李德威, 王焰新. 干热岩地热能研究与开发的若干重大问题[J].地球科学——中国地质大学学报, 2015 (11): 1858-1869.
- 2 吕志涛, 韩书记. 河南省鲁山县下汤地热田地热资源分析[J].地下水, 2005, 27 (01): 16-18.
- 3 郭文秀. 河南省鲁山县百里温泉地热地热资源的成因分析[J].中小企业管理与科技, 2014 (7): 123-124.
- 4 卢磊, 倪昆, 路东臣. 鲁山县百里温泉地热地质特征及概念模型探讨[J].中州煤炭, 2016 (9), : 165-168.
- 5 王帅, 白楠. EH4 电磁法在鲁山地区地热勘查中的应用[J].黑龙江科技信息, 2016 (29): 159.
- 6 朱炳球, 朱立新, 史长义, 余慧. 地热田地球化学勘查[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- 7 河南省驻马店地质工程勘察院.河南省鲁山县五大温泉地热地质普查报告[R]. 1997.

Analysis of heat transfer mechanism of geothermal spring in Lushan County

ZHANG Qing¹, BIN Zhao-hui², XU Yong-ji³, LUO Shao-he¹, QIAN Jia-zhong⁴

(1. Institute of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Email: zhangqing1976@vip.163.com; 2 Henan Institute of Geological Sciences, Zhengzhou 450001, Henan; 3. Fifth Institute of Geological Exploration, Henan Geological and Mineral Bureau, Zhengzhou 450001, Henan; 4. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Email: qianjiazhong@hfut.edu.cn)

Abstract: Geothermal energy is a new type of energy. The utilization of geothermal energy has little harm to the environment, and it is widely distributed, which can change the current situation of fossil energy consumption. It is of great significance to study the occurrence, structure and heat transfer mechanism of geothermal energy for the effective utilization of geothermal energy. Geothermal hot springs in Lushan County, Henan Province, are rich in resources. The five hot spring belt of Shangtang, Zhongtang, Wentang, Xiatang and Jianchang is the most famous geothermal hot spring area. In this paper, the geological origin and heat transfer mechanism of hot springs in Lushan County were analyzed from the aspects of geological structure, geophysics, types of thermal reservoirs and heat sources.

Key words: Lushan geothermal; Hot spring belt; Geological structure; Heat transfer mechanism