



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2403245

引用格式:胡剑,王道成,徐凌,等.河南驻马店地区中深层地热资源综合信息探查和潜力评价[J].科学技术与工程,2025,25(1):67-75.

Hu Jian, Wang Daocheng, Xu Ling, et al. Comprehensive information exploration and potential evaluation of middle-deep geothermal resources in Zhumadian, Henan Province[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(1): 67-75.

河南驻马店地区中深层地热资源综合信息 探查和潜力评价

胡剑¹, 王道成¹, 徐凌¹, 刘蔷¹, 冷济高^{2*}, 高阳², 赵雅静², 尹超²

(1. 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司, 成都 610051; 2. 北京宝石花能源科技有限公司, 北京 100061)

摘要 河南省地热资源丰富,豫北、豫中地区地热资源勘探程度较高,目前已实现大规模开发利用,但豫南地区地热资源勘探程度较低,钻探资料有限,针对其构造特征、地层分布、地热地质特征和资源潜力研究程度相对薄弱,尚难满足产业化、规模化开发需要。基于区域地质特征,结合二维地震解释成果,在前人研究基础上,开展了驻马店地区地热地质特征研究、资源评价和有利区预测。研究表明,驻马店构造位于周口坳陷西南部的舞阳凹陷、驻马店—淮滨凹陷、平舆凸起和长山隆起区、南襄盆地东部的泌阳凹陷5个二级构造单元;驻马店地区除正阳、确山位于长山隆起区地热地质条件较差外,其余地区均具有较好的地热资源开发条件;该区发育有新近系、古近系砂岩热储和寒武-奥陶系碳酸盐岩3套层状热储,总静态资源量约为 115×10^{15} kJ。预测泌阳县城区、新蔡县城区和驿城区西部热储埋深适中、涌水量大、温度较高,为最具地热资源开发有利区。

关键词 地热资源; 潜力分析; 有利区预测; 周口坳陷; 泌阳凹陷; 驻马店地区
中图法分类号 P314; 文献标志码 A

Comprehensive Information Exploration and Potential Evaluation of Middle-deep Geothermal Resources in Zhumadian, Henan Province

HU Jian¹, WANG Dao-cheng¹, XU Ling¹, LIU Qiang¹, LENG Ji-gao^{2*},
GAO Yang², ZHAO Ya-jing², YIN Chao²

(1. Southwest Oil & Gas Field Company, PetroChina, Chengdu 610051, China;
2. Beijing GEM Flower Energy Technology Co., Ltd., Beijing 100061, China)

[Abstract] Henan Province has abundant geothermal resources, with the northern and central regions having undergone extensive exploration and large-scale development. However, the southern region of Henan has been subject to limited exploration efforts, resulting in a scarcity of drilling data. Consequently, research on its structural characteristics, stratigraphic distribution, geothermal geological characteristics and resource potential is relatively underdeveloped. This knowledge gap poses challenges in meeting the demands for industrialization and large-scale development. Based on regional geological characteristics and two-dimensional seismic interpretation results, the research on geothermal geological characteristics, resource evaluation and favorable area prediction in Zhumadian area were carried out on the basis of previous studies. The results show that Zhumadian structure is located in five secondary structural units: Wuyang Depression, Zhumadian-Huaibin Depression, Pingyu Uplift and Changshan uplift in the southwest of Zhoukou Depression and Biyang Depression in the east of Nanxiang Basin. In Zhumadian area, the geothermal geological conditions are poor in Zhengyang and Chishan, which are located in the uplift area of Changshan Mountain. There are three sets of stratified heat reservoirs in Neogene, Paleogene sandstone and Cambrian-Ordovician carbonate rocks in this area, and the total static resources are about 115×10^{15} kJ. It is predicted that Biyang County urban area, Xincai County urban area and the west of Yicheng District are the most favorable areas for geothermal resources development, with moderate depth of heat storage, large water inflow and high temperature.

[Keywords] geothermal resources; potential analysis; prediction of favorable areas; Zhoukou Depression; Biyang Sag; Zhumadian area

收稿日期: 2024-05-02 修订日期: 2024-10-16

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司科技项目(XNS-JS2023-83)

第一作者: 胡剑(1970—),男,汉族,四川双流人,高级工程师。研究方向: 新能源开发、清洁供能、地热资源评价及开发。E-mail: hujian@petrochina.com.cn。

* 通信作者: 冷济高(1976—),男,汉族,四川中江人,博士,高级工程师。研究方向: 非常规油气资源勘探、开发,地热资源评价及开发。E-mail: lengjigao@163.com。

中国为实现“碳达峰、碳中和”目标,亟须低碳、清洁、多元的现代能源体系,如风能、太阳能、地热能等,其中,地热能因具有高发电利用率而受到广泛关注^[1-2]。地热资源按照热储的温度和埋深分为浅层地热能、水热型地热能 and 干热岩 3 种^[3],其中,水热型地热能作为目前主要的可利用资源,在地热供暖、减排降碳方面越来越受到关注^[4-6]。

河南省地热资源丰富,并且利用较早,但主要以洗浴、康养等为目的温泉开发为主,至 20 世纪 90 年代末,基本未开展区域性地热资源勘查工作^[7]。20 世纪初,地热能作为“绿色能源”受到广泛的重视,河南省开展了一系列以区域性及以重点城市为主的地热地质勘查工作,但主要以热储条件较好、分布稳定的新近系砂岩热储为勘查目标,未能形成全面的、系统的摸底排查,并且勘查精度低,并没有改变地热资源储量不明的状态,在找热方向、找热效果方面尚未有重大突破^[8-9]。

2010 年以来河南省财政共安排地热地质调查项目超过 20 多项,对中深层地热资源的分布规律和赋存条件以及产水量有了进一步的了解,基本查明了河南省地热资源情况,估算全省新近系地热资源量 830×10^{15} kJ,古近系地热资源量 $1\ 500 \times 10^{15}$ kJ,地热可采流量为 9.15×10^8 m³/a。在经济条件较好的豫北、豫中地区如郑州、开封、商丘等城市,地热资源勘查、开发程度目前已相对较高(已采量与可采量比值大于 0.73),但在豫南地区如周口、驻马店、南阳等低开采区(已采量与可采量比值小于 0.05),地热资源勘查程度相对较低,研究工作表现为面多量少,资源情况仍不明确,尤其在城区供暖需求迫切地区,针对热储层的评价更少,难满足产业化、规模化开发的需要^[10-12]。

现基于驻马店地区的区域地质特征,在大量收集南华北盆地和泌阳凹陷油区的二维、三维地震资料、油气井数据(钻井、测井、录井等)的基础上,结合地勘井资料和现有地热井钻探开发成果,对驻马店市全区开展中深层地热资源潜力评价,系统论述影响该区热储成因的地热地质背景、热储特征、地温场特征、水化学性质等地热地质条件,评价了全区地热资源开发潜力,指出地热资源潜在有利区,为该区中深层地热资源开发提供地质依据。

1 区域地质概况

驻马店市辖 1 区 9 县,面积 15 000 km²,西部被伏牛山东南延和桐柏山西延余脉分隔,横跨南阳盆地东缘和淮北平原。构造位置主体位于南华北盆地周口坳陷的舞阳凹陷、平舆—太和凸起、驻马店—淮滨凹陷和

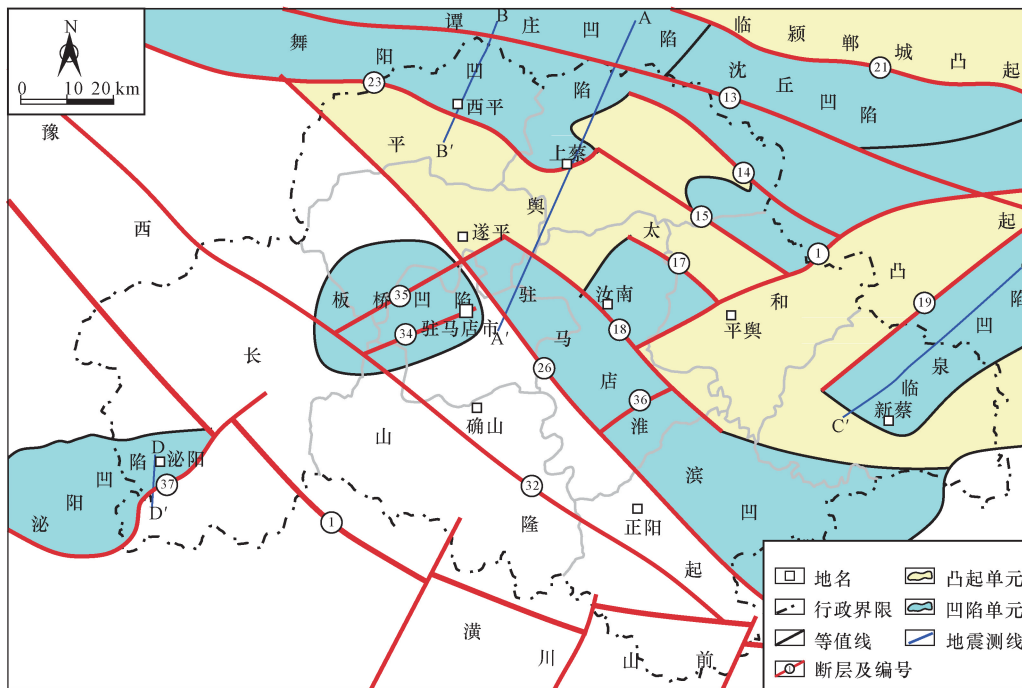
豫西—长山隆起、南襄盆地东部的泌阳凹陷^[13-15]。其中确山、正阳位于豫西—长山隆起区,基岩出露盖层不发育导致地热资源形成条件受限,而其他地区地热资源开发潜力较大。其中驿城区(中西部)位于板桥凹陷,西平、上蔡县位于舞阳凹陷,遂平(西)、平舆、新蔡位于平舆—太和凸起,汝南、遂平(东)及驿城区(东部)位于驻马店—淮滨凹陷,泌阳县则位于泌阳凹陷东北部,均发育沉积盆地型地热资源(图 1)。

区域性的深大断裂不仅控制构造格局及沉积演化,也是主要的控热断裂^[16]。影响驻马店地区的深大断裂主要有 NW 走向的驻马店—息县断裂、舞阳断裂,NE 走向的泌阳—栗园断裂、临泉断裂。其中,驻马店—息县断裂是驻马店—淮滨凹陷的西南和平舆凸起西北部边界断层,属区域活动性断裂,该断裂全长 120 km,断距大于 1 000 m,断裂下盘为浅山丘陵、山前岗地或隐伏岗地,上盘自燕山运动以来一直处于长期沉降状态,新生界厚度多在 1 000 ~ 2 000 m,为驻马店—淮滨凹陷地热资源的形成与赋存提供了极为有利的条件^[17-18][图 2(a)中 A'-A 剖面]。舞阳断裂为舞阳凹陷南部边界断层,与平舆凸起相接,由叶县田庄以东、舞阳辛店、西平谭店向南东延展,倾向北东,该断裂全长 90 km,倾角 65° ~ 80°,断距 300 ~ 1 500 m^[19],为区域继承性活动断裂,形成时间较早,控制着中生代以来的构造及沉积[图 2(b)中 B'-B'剖面]。临泉断裂为临泉凹陷北界,全长 80 km,为犁式滑脱正断层,控制临泉凹陷发展的主要断层,其形成时间较晚,喜山期活动强烈,断层上延至新近系,主要控制新生代构造及沉积,控水作用不明显[图 2(c)中 C'-C 剖面]。泌阳—栗园断裂是泌阳凹陷东缘边界基底大断裂,属区域活动性断裂,该断裂走向由南段的北北东向转为北段的北东东向,倾向北西,延伸长度 31 km,最大断距 8 km 以上,断层倾角上缓下陡,平面上呈弧形延伸,泌阳城区临近栗园—泌阳断层的北部,地热资源受该断裂控制作用明显^[20-21][图 2(d)中 D'-D 剖面]。

驻马店中东部地区主体位于淮河平原,西部泌阳县紧邻南阳盆地东侧,该区主要发育地层从上到下第四系、上第三系、下第三系、白垩-侏罗系、古生代-二叠系、寒武-奥陶系、元古界、太古界。驻马店地区主要发育两种类型热储:一是新生界砂岩孔隙型热储,二是寒武-奥陶系碳酸盐岩热储(图 2)。

2 热储特征

由表 1 可知,驻马店地区地热井钻探较多,主要集中在上蔡县城区,其他如新蔡、汝南、驿城区、遂平、泌阳城区也有少量地热井钻探,但多以新生界砂



1 为栾川-确山-固始-肥中断裂带;13 为姜堤断裂;14 为新桥断裂;15 为射同断裂;17 为殷湾断裂;18 为三桥断裂;19 为临泉断裂;23 为舞阳断裂;26 为驻马店断裂;32 为拐河-确山断裂;34 为周楼断裂;35 为遂平断裂;36 为马乡断裂;37 为泌阳-栗园断裂

图 1 驻马店地区区域构造简图

Fig. 1 Sketch map of structure in Zhumadian area

表 1 驻马店地区及周缘地热井特征统计表

Table 1 Geothermal well statistical in the Zhumadian Area

构造单元	井号/井名	井深/m	温度/°C	涌水量(m ³ ·h ⁻¹)/ 降深/m	静水位/m	地温梯度/ [°C·(100 m) ⁻¹]	出水层位
舞阳凹陷	上热 1 井	1 295.05	43	53.7/40.73	27.97	3.1	E、N
	上热 2 井	1 031	41	40.4/23.3	26		
	上热 3 井	1 000	38	35/—	60		
	上热 4 井	981	40	30/—	35.1		
	WT1 井	2 241	68~81	60~75	—		€-O
平舆凸起	汝热 1 井	996	45	50/18	57	4.0	N
	新热 1 井	1 300	44.8	95.9/21.34	40.2	3.2	
	平热 1 井	970	44	40/—	—	3.2	
驻马店— 淮滨凹陷带	遂热 1 井	1 451	50.5	14/124.6	65	3.8	E
	遂热 2 井	1 600	60	55/30	66		
泌阳凹陷	假日广场	1 121	43	60/—	—	2.8	

注:上热 1 井取水层段 792~1 233 m,其中新近系热储厚度 89.6 m,古近系热储厚度 58.9 m;遂热 1 井取水层段 880~1 441 m。

岩热储为勘探目标,只有 WT1 井在舞阳凹陷内揭露寒武-奥陶系热储,显示涌水量较大、温度较高^[19]。通过收集该区已有地质、钻井资料,初步查明地热地质特征,热储类型分为砂岩孔隙型层状热储和碳酸盐岩岩溶热储两种类型,其中砂岩孔隙型层状热储包括新近系和古近系两套热储^[22-26]。

2.1 新近系砂岩热储

新近系砂岩层状热储分布范围较广,呈毯式覆盖分布于各凹陷、凸起之上,沉积中心位于周口地区,地层厚度超过 2 000 m。驻马店地区残余地层厚

度介于 0~1 800 m,自北东向南西逐渐减薄。构造分析结果显示上蔡西北部埋深最大,超过 1 800 m,西平、平舆东北部埋深也超过 1 300 m。从各区县城区来看,西平、上蔡、平舆、新蔡城区新近系底界埋深介于 900~1 100 m,汝南县城埋深 700~750 m,其他区县城区埋深均小于 500 m 或地层缺失(图 3)。该区有多口井(上蔡地区地热井、汝热 1、新热 1、平热 1 井)钻遇该套热储,岩性为细砂、中砂、中粗砂岩,底部发育一套厚层砾岩,热储层厚 80~150 m,单砂层最厚可达 25 m,平均 10 m 左右,孔隙度 15%~30%。

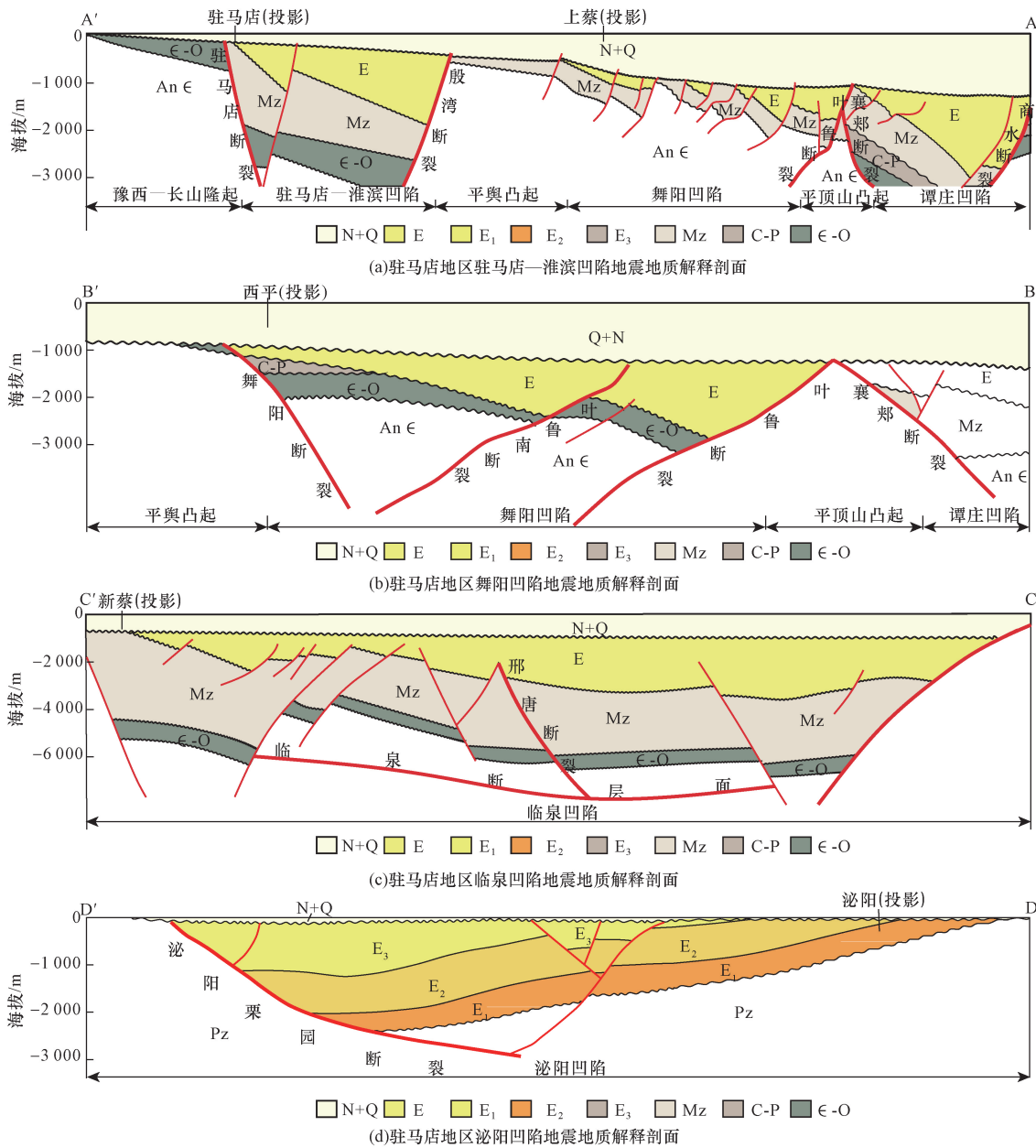


图2 驻马店地区地震地质解释剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 Seismic geological interpretation section of Zhumadian area(the profile position is shown in Fig. 1)

该套热储出水温度 38 ~ 45 °C,涌水量 30 ~ 95.9 m³/h (新热 1 井),为优质低温温水、温热水砂岩热储。

2.2 古近系砂岩热储

古近系砂岩层状热储主要受新生代构造格架控制,驻马店地区古近系地层主要分布在舞阳、驻马店—淮滨、临泉、板桥和泌阳等各次凹内(图1)。该套热储残余地层厚度 0 ~ 2 000 m,其中驿城区西部、汝南县区及泌阳凹陷南部地厚度均超过 2 000 m,遂平地区地层厚度接近 500 m,其他地区如西平、上蔡、新蔡地层厚度则小于 200 m,而在确山、平舆、正阳地区该套地层缺失(图4)。综合构造分析表明驿城区埋深最大,超过 2 500 m,次为汝南县城埋

深也接近 2 000 m,泌阳城区南部埋深也超过 1 900 m,除确山、正阳及遂平县西部埋深较浅或地层缺失外,其他县城埋深均在 1 000 ~ 1 800 m。从钻遇该套热储较厚的驻热 1 井、上热 1 井、遂热 1 井、假日广场温泉井看,热储平面和纵向上岩性变化较大,其中板桥凹陷的驿城区和泌阳凹陷泌阳县城区因靠近物源,热储岩性以中厚层细砂岩、中砂岩为主,而遂平、汝南等地区则为远源薄层粉细砂岩为主,热储厚度小于 100 m。统计表明,该套热储层厚度 50 ~ 350 m,其中驿城区西部热储厚度超过 350 m,泌阳、汝南地区热储厚度也超过 150 m,遂平地区该套热储层厚近 100 m,而平舆凸起上如西平、上蔡、新蔡热

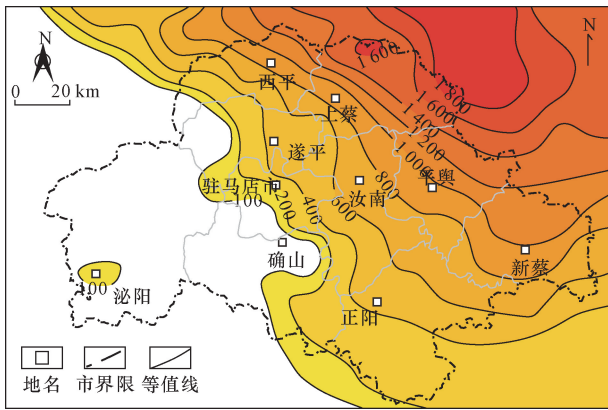


图3 驻马店地区新近系残余地层厚度分布图
Fig. 3 Thickness map of Neogene residual strata in Zhumadian area

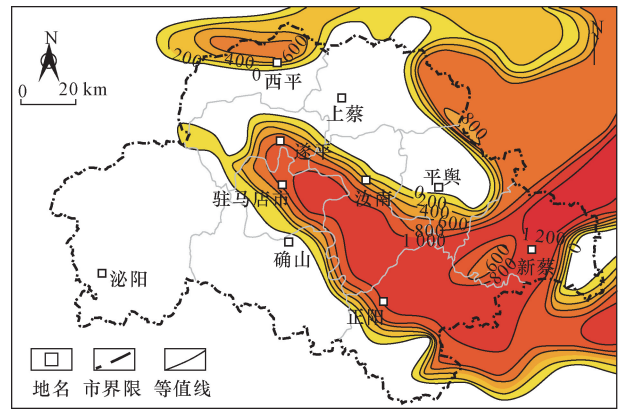


图5 驻马店地区寒武-奥陶系残余地层厚度分布图
Fig. 5 Thickness map of Cambrian-Ordovician residual strata in Zhumadian area

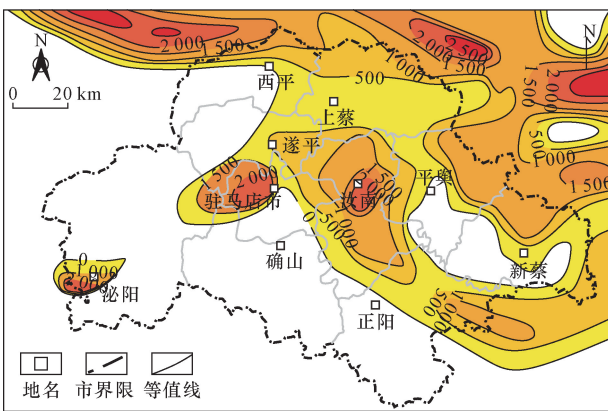


图4 驻马店地区古近系残余地层厚度分布图
Fig. 4 Thickness map of Paleogene residual strata in Zhumadian area

储厚度普遍小于 50 m。古近系热储层单砂层厚度 1.5 ~ 19 m, 平均 4 m 左右, 孔隙度 15% ~ 25%。该套热储出水温度 43 ~ 60 °C, 涌水量 14 ~ 60 m³/h, 为低温温热水砂岩热储。

2.3 寒武-奥陶系碳酸盐岩岩溶热储

驻马店地区寒武-奥陶系热储主要分布在舞阳凹陷南部、驻马店—淮滨及临泉凹陷内, 其中驻马店中南部地区残余地层厚度最大, 如新蔡地区厚度超过 1 000 m, 驻马店北部西平地区地层厚度介于 0 ~ 600 m, 并且自北向南逐渐减薄, 驿城区、遂平、汝南、新蔡、正阳地区该套地层残余大于 800 m, 其他地区如西平南部、上蔡、平舆、确山和泌阳城区该套热储缺失(图 5)。综合构造分析认为驿城区东部埋深最大, 超过 3 500 m, 其次为新蔡县城区, 埋深超过 3 300 m, 汝南县城西部埋深也超过 2 800 m, 西平城区北部埋深 1 600 m, 但厚度不足 200 m, 正阳城区埋深则小于 500 m。从钻遇该套热储较厚的 WT1 井、皖毫地 1 井看, 热储岩性以白云质灰岩、灰岩为主, 由于该套热储经历多期抬升剥蚀事件, 遭受了广

泛而强烈的剥蚀, 受风化淋滤和溶蚀作用影响, 碳酸盐岩中产生了大量溶蚀孔缝, 具有较好的热储形成条件^[19]。该套热储平均孔隙度 1.21% ~ 2.79%, 出水温度超过 80 °C, 涌量为 60 ~ 75 m³/h, 为低温热水碳酸盐岩岩溶热储。

3 地温场特征

地温梯度变化与活动性深大断裂以及基岩埋深有关, 断裂带附近或基岩埋深较浅的负向构造地温梯度相对较高, 反之则呈现低地温梯度。驻马店地区位于华北准地台南缘, 以栾川—确山—固始深大断裂为界与秦岭褶皱系相邻, 该区发育大量北西向深大断裂, 并且断裂具有规模大、切割深、活动时期长等特征。区域地温梯度研究表明, 该区地温梯度介于 2.0 ~ 2.5 °C/100 m^[27], 但大量钻井证实, 该区地温梯度介于 2.8 ~ 3.3 °C/100 m, 明显高于该区域背景值(表 1)。甚至在汝南、遂平等深大断裂发育区, 局部地温梯度超过 3.8 °C/100 m。驻马店中东部地区新近系、古近系地温梯度一般介于 3.1 ~ 3.3 °C/100 m。

驻马店西南部地区如泌阳凹陷地温梯度介于 2.8 ~ 4.0 °C/100 m, 并且地温场与凹陷正向构造具有一致性特征, 地温梯度整体随着埋深增大而逐渐减小, 平面上呈现由北向南减小的趋势^[21]。从泌阳县城区实钻地热井假日广场温泉井来看, 其古近系地温梯度为 2.8 °C/100 m, 明显低于油区区域背景值, 推测可能与靠近豫西长山隆起区有关。

4 水化学特征

共收集水样 7 组, 其中新近系水样 3 组, 古近系水样 2 组, 寒武-奥陶系水样 1 组, 另外还收集到地表径流水样 1 组。根据水化学组分测试结果(表 2), 驻马店地区均为弱碱性水, 其中新近系水化学类型为 HCO₃-Na 型, 主要阳离子是 Na⁺, 平均含量 183.5 ~

表2 驻马店地区地热流体的水化学及同位素分析结果
Table 2 Geothermal water chemistry analysis results in the Zhumadian Area

井号	层位	含量/(mg·L ⁻¹)								pH	δ ² D/‰	δ ¹⁸ O/‰	
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻				TDS
遂热1井	E	955.2	9.80	91.18	12.27	217.66	1 840.03	165.97	0.00	3 328.90	7.6	-71	-10.5
汝热1井	N	196.3	4.13	11.15	5.79	53.25	29.64	487.50	3.01	566.40	8.07	-82	-9.5
上热1井	N	342.3	1.33	26.36	9.99	270.40	168.10	253.70	11.34	982.90	8.35	-70	-9.6
平热1井	N	245.0	1.19	2.61	2.11	60.82	33.6	544.70	—	639.1	7.28	-66.3	-9.1
新热1井	N	183.5	1.95	9.57	3.87	66.22	104.30	292.60	—	540.5	7.6	-66	-8.7
寒武-奥陶系岩溶		404.0	—	—	—	—	—	—	—	3 980~6 541	7.4~7.9	-66.3	-9.1
浅层水		38.81	1.03	155.78	22.34	69.96	49.74	436.46	0	638.11	7.17	-98	-12.1

注:寒武-奥陶系岩溶水化学特征数据来源于周口坳陷永城、通许凸起中部^[23]。

342.3 mg/L, 主要阴离子是 HCO₃⁻, 平均含量 292.6~544.7 mg/L, 溶解性总固体(TDS)含量为 540.5~639.1 mg/L, 与地表浅层水基本相同, 属于淡水; 古近系水化学类型为 SO₄-Na 型, 主要阳离子是 Na⁺, 平均含量 955.2 mg/L, 主要阴离子是 SO₄²⁻, 平均含量 1 840 mg/L, TDS 含量为 3 328.9 mg/L, 属于微咸水; 上热 1 井水样表现为新近系和古近系混合水样特征, 其水样化学组分介于两者之间; 寒武-奥陶系水化学类型为 SO₄-Na、Cl·SO₄-Na 型, TDS 含量为 3 980~6 541 mg/L, 属于咸水。

根据遂热 1 井、汝热 1 井、上热 1 井、平热 1 井和浅层地层水的地热流体同位素 δ²D、δ¹⁸O 测试分析, 遂平、汝南和上蔡、平舆、新蔡地热流体均来源于大气降水^[22,28]。¹⁴C 地热流体年龄测定表明, 驻马店地区新生界地层水形成龄 26~44 ka, 属次现代水, 并且距伏牛山区补给区越远, 其地热水形成年龄越大, 说明侧向径流是主要天然补给方式^[29]。

5 地热资源开发潜力

5.1 地热资源潜力

驻马店地区以确山—固始深大断裂为边界, 向西、南、东、北为无限开放的含水系统。其补给来源主要是北西走向伏牛山东西两侧山前地带, 主要自然排泄方式是向东、向西的径流排泄^[18]。

驻马店地区主要发育新近系砂岩、古近系砂岩和寒武-奥陶系碳酸盐岩三套层状热储, 其中驿城区、新蔡县、汝南县、遂平县、西平县城区三套热储均有发育, 上蔡县城区则发育新近系和古近系砂岩两套砂岩热储, 平舆县城区和泌阳县城区分别只发

育新近系热储和古近系热储, 其他县城区如确山、正阳县城区地热资源不发育。

在对驻马店区域地质背景和地热地质特征研究的基础上, 按照地矿部 1985 年发布的《地热资源评价方法》(DZ40-85) 规范中地热能储量计算方法和参数, 采用热储法估算了驻马店地区地热静态资源量, 其中分两类地热资源三套热储分别估算(表 3)。

(1) 新近系砂岩热储静态资源量。驻马店新近系砂岩热储分布面积 4 200 km², 平均厚度 120 m, 平均埋深 900 m, 平均热水温度 43 °C, 静态资源量为 35.6 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 12.1 × 10⁸ t, 水量 1 260 × 10⁸ m³。按可采系数 20% 计算, 可采资源量 7.1 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 2.4 × 10⁸ t。

(2) 古近系砂岩热储静态资源量。驻马店古近系砂岩热储分布面积 6 400 km², 平均厚度 100 m, 平均埋深 1 400 m, 平均热水温度 56 °C, 静态资源量为 62.0 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 21.2 × 10⁸ t, 水量 1 152 × 10⁸ m³。按可采系数 20% 计算, 可采资源量 12.4 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 4.2 × 10⁸ t。

(3) 寒武-奥陶系碳酸盐岩岩溶热储静态资源量。驻马店寒武-奥陶系碳酸盐岩岩溶热储分布面积 550 km², 平均厚度 200 m, 平均埋深 2 950 m, 平均热水温度 75 °C, 静态资源量为 17.4 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 5.9 × 10⁸ t, 水量 22.0 × 10⁸ m³。按可采系数 20% 计算, 可采资源量 3.5 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 1.2 × 10⁸ t。

驻马店地区地热资源量较大, 总静态资源量约为 115 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 39 × 10⁸ t, 水量 2 434 × 10⁸ m³。可采资源量 23 × 10¹⁵ kJ, 折合标准煤 7.8 × 10⁸ t。

表3 驻马店地区地热资源量估算参数表

Table 3 Estimated parameters of geothermal resources in the Zhumadian area

层位	地层厚度/m	储地比/%	平均热储厚度/m	面积/km ²	平均孔隙度/%	平均埋深/m	平均温度/°C	资源量/10 ¹⁵ kJ	水量/10 ⁸ m ³
新近系	400	30	120	4 200	25	900	43	35.6	1 260.0
古近系	520	18	100	6 400	18	1 400	56	62.0	1 152.0
寒武-奥陶系	800	25	200	550	2	2 950	80	17.4	22.0
合计				11 150				115	2 434

5.2 地热资源有利区评价

驻马店地区发育新近系、古近系砂岩和寒武-奥陶系碳酸盐岩岩3套层状热储。其中华北地区新近系砂岩层状热储,为区域含水层,热储物性条件较好,产水量大,其底界埋深决定了地层厚度和温度,因此有利区划分主要参考地层埋深;古近系砂岩热储主要受控于局部构造,其有利区划分主要考虑热储顶面埋深、岩性及地层厚度;寒武-奥陶系碳酸盐岩热储分布范围主要受控于沉积环境,有利区划分影响因素主要是厚度及埋深。这里以热储埋深、热储厚度、涌水量和出水温度为主要技术指标,兼顾储层物性、断裂展布、补给条件、热传递方式和热储规模等因素,结合该区实际地热地质特征,将驻马店地区按不同热储类型划分为I类区、II类区和III类区(图6)。

(1)地热资源I类区。砂岩热储底界埋深大于1 500 m,地层厚度大于1 000 m,平均水温大于60 ℃;碳酸盐岩热储埋深1 500~2 500 m,平均水温60~80 ℃,热储物性好,单井涌水量大于60 m³/h。I类区主要分布在驻马店市东北部(新近系砂岩热储)、驿城区中西部地区(古近系砂岩热储),总面积约1 660 km²,其中驿城区中西部的古近系热储最具开发潜力。

(2)地热资源II类区。砂岩热储底界埋深800~1 500 m,地层厚度500~1 000 m,平均水温

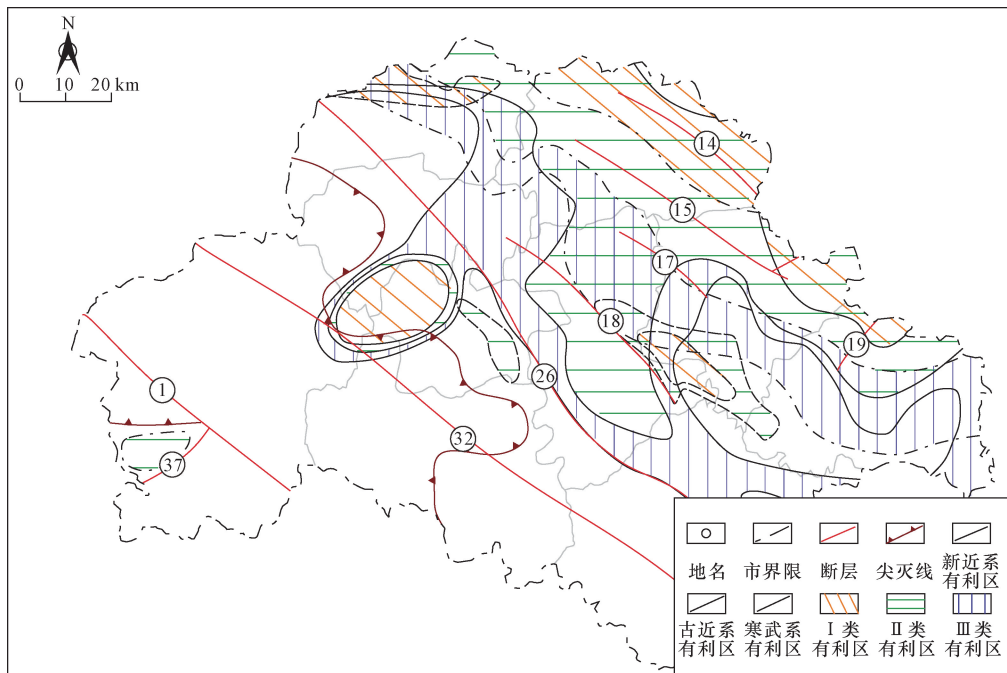
40~60 ℃;碳酸盐岩热储埋深800~1 500 m或2 500~3 000 m,平均水温40~60 ℃或80~90 ℃。热储物性较好,单井涌水量大于30~60 m³/h。II类区主要分布在驻马店市中东部地区(新近系砂岩热储)、泌阳城区中南部(古近系砂岩热储)和汝南东部及平舆南部(寒武-奥陶系碳酸盐岩岩溶热储),总面积约5 240 km²,其中西平、上蔡、汝南、平舆、新蔡、泌阳县城城区均具地热开发条件,但泌阳县城城区古近系、新蔡县城城区新近系砂岩热储和汝南县城城区碳酸盐岩热储最具开发潜力。

(3)地热资源III类区。砂岩热储底界埋深500~800 m,地层厚度大于500 m,平均水温30~40 ℃;碳酸盐岩热储埋深500~800 m或大于3 000 m,平均水温40~60 ℃或大于90 ℃。热储物性一般,单井涌水量小于30 m³/h。III类区主要分布在驻马店市中东部地区(古近系砂岩热储和寒武-奥陶系碳酸盐岩岩溶热储),总面积约4 420 km²,其中遂平、汝南、新蔡县城城区古近系具有一定的地热开发前景。

6 结论

(1)驻马店地区位于周口坳陷西南部的舞阳凹陷、驻马店—准滨凹陷、平舆凸起、长山隆起区和南襄盆地东部的泌阳凹陷5个二级构造单元。

(2)驻马店地区除正阳、确山县位于长山隆起区地热地质条件较差外,其余地区均具有一定的地



1 为栾川—固始—肥中断层;14 为新桥断裂;15 为射同断裂;17 为股湾断裂;18 为三桥断裂;19 为临泉断裂;
26 为驻马店断裂;32 为拐河-确山断裂;37 为泌阳-栗园断裂

图6 驻马店地区地热资源综合评价图

Fig. 6 Comprehensive evaluation map of geothermal resources in Zhumadian area

热资源开发条件,该区发育新近系、古近系砂岩和寒武-奥陶系碳酸盐 3 套层状热储,总静态资源量约为 115×10^{15} kJ,水量为 $2\ 434 \times 10^8$ m³。

(3)依据热储埋深、热储厚度、涌水量为主要技术指标,综合评价驻马店市泌阳县城区和驿城区西部的古近系、新蔡县城区新近系和汝南县城区寒武-奥陶系碳酸盐岩热储为最有利地热资源开发目标区。

参 考 文 献

- [1] 周总琰,刘世良,刘金侠. 国地热资源特点与发展对策[J]. 自然资源学报, 2015, 30(7): 1210-1221.
Zhou Zongying, Liu Shiliang, Liu Jinxia. Study on the characteristics and development strategies of geothermal resources in China [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(7): 1210-1221.
- [2] 王贵玲,陆川. 碳中和目标下地热资源开采利用技术进展[J]. 地质与资源. 2022, 31(3): 412-425.
Wang Guiling, Lu Chuan. Progress of geothermal resources exploitation and utilization technology driven by carbon neutralization target[J]. Geology and Resources, 2022, 31(3): 412-425.
- [3] 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 Guiling, Liu Yanguang, Zhu Xi, et al. The status and development trend of geothermal resources in China[J]. Earth Science Frontiers, 2020, 27(1): 1-9.
- [4] 霍超,林倚天,李刚,等. 碳中和背景下中国地热资源勘查技术研究进展[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(12): 4917-4927.
Huo Chao, Lin Yitian, Li Gang, et al. China's geothermal resource exploration technology research progress under the background of carbon neutrality[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(12): 4917-4927.
- [5] 姚华,黄云,徐敬英,等. 我国北方地区清洁供暖技术现状与问题探讨[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(9): 1177-1188.
Yao Hua, Huang Yun, Xu Jingying, et al. Technology status and discussion on challenges of clean heating in northern China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(9): 1177-1188.
- [6] 李振,高智溥. 北方冬季供暖技术的评价与选择[J]. 中国煤炭, 2018, 44(12): 135-140, 112.
Li Zhen, Gao Zhipu. Evaluation and selection of supply heating methods in northern winter[J]. China Coal, 2018, 44(12): 135-140, 112.
- [7] 王宝玉. 河南省地热资源开发利用现状及展望[J]. 河南地质, 1998, 16(2): 126-129.
Wang Baoyu. Present situation and prospect of geothermal resources development and utilization in Henan Province[J]. Henan Geology, 1998, 16(2): 126-129.
- [8] 卢予北,张古彬,陈莹. 河南省地热资源开发利用现状与问题研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(10): 35-39.
Lu Yubei, Zhang Gubin, Chen Ying. Research on the current situation and problems of geothermal resources development and utilization in Henan Province[J]. Exploration Engineering (Geotechnical Drilling Engineering), 2010, 37(10): 35-39.
- [9] 王继华. 河南沉降盆地地热资源评价[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2010, 7(2): 178-180, 204.
Wang Jihua. Evaluation of geothermal resources in Henan subsidence basin [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2010, 7(2): 178-180, 204.
- [10] 王心义,黄丹. 河南省地热资源开发利用现状评价[J]. 地下水, 2010, 32(1): 54-55, 70.
Wang Xinyi, Huang Dan. Evaluation on the development and utilization of geothermal resources in Henan Province [J]. Groundwater, 2010, 32(1): 54-55, 70.
- [11] 董寒杰,孙健,王冠华,等. 河南省中深层地热资源勘查开发潜力与模式研究[J]. 矿产勘查, 2022, 13(8): 1158-1165.
Dong Hanjie, Sun Jian, Wang Guanhua, et al. Study on the potential and mode of exploration and development of middle and deep geothermal resources in Henan Province[J]. Mineral Exploration, 2022, 13(8): 1158-1165.
- [12] 张晗,卢玮,黄烜,等. 河南省水热型地热成因模式及钻探方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(9): 8-14, 20.
Zhang Han, Lu Wei, Huang Xuan, et al. Hydrothermal geothermal genetic model and drilling method in Henan Province[J]. Exploration Engineering (Geotechnical Drilling Engineering), 2020, 47(9): 8-14, 20.
- [13] 孙晓猛,张梅生,龙胜祥,等. 秦岭-大别造山带北部逆冲推覆构造与合肥盆地、周口拗陷控盆断裂[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 192-197.
Sun Xiaomeng, Zhang Meisheng, Long Shengxiang, et al. The thrust nappe structure in the north of Qinling-Dabie orogenic belt and the basin-controlling faults in Hefei basin and Zhoukou Depression[J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 2004, 25(2): 192-197.
- [14] 姚亚明,赵红格,杨斌谊,等. 周口拗陷油气地质特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2004, 34(3): 331-336.
Yao Yaming, Zhao Hongge, Yang Binyi, et al. Petroleum geological characteristics of Zhoukou Depression [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2004, 34(3): 331-336.
- [15] 张鑫. 泌阳凹陷油气成藏过程及勘探潜力分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
Zhang Xin. Analysis of hydrocarbon accumulation process and exploration potential in Biyang Sag [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.
- [16] 周称称,杨博,王丹. 河南省驻马店-遂平地热田地球化学特征及指示意义[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(8): 69-72.
Zhou Chengcheng, Yang Bo, Wang Dan. Geochemical characteristics and indicative significance of Zhumadian-Suiping geothermal field in Henan Province[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021, 39(8): 69-72.
- [17] 吴继新,王娟,刘华平,等. 河南省遂平县城地热田地热地质特征[J]. 地下水, 2009, 31(6): 146-149.
Wu Jixin, Wang Juan, Liu Huaping, et al. Geothermal geological characteristics of geothermal field in Suiping County, Henan Province[J]. Groundwater, 2009, 31(6): 146-149.
- [18] 刘华平,彭森博,李扬. 驻马店-遂平一带地热资源赋存规律研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2014, 35(6): 37-41.
Liu Huaping, Peng Senbo, Li Yang. Research on the occurrence regularities of geothermal resources in the area of Zhumadian to Suiping[J]. Journal of North China University of Water Resources

- and Electric Power (Natural Science Edition), 2014, 35(6): 37-41.
- [19] 周颖, 杜利, 魏广仁, 等. 南华北南缘长山隆起斜坡带寒武系岩溶地热资源特征[J]. 石油技术, 2023(9): 184-186.
Zhou Ying, Du Li, Wei Guangren, et al. Characteristics of Cambrian karst geothermal resources in the slope zone of Changshan Uplift in the southern margin of south-north China[J]. Petrochemical Technology, 2023(9): 184-186.
- [20] 王子煜, 漆家福, 张永华. 泌阳凹陷新生代构造特征与形成机制及其与油气成藏的关系[J]. 地质学报, 2004, 78(3): 332-344.
Wang Ziyu, Qi Jiafu, Zhang Yonghua. Cenozoic structural characteristics and mechanism and their relationship with oil and gas reservoir in the Biyang Depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(3): 332-344.
- [21] 季汉成, 李海泉, 陈亮, 等. 南襄盆地地热系统构成及资源量预测(以泌阳、南阳凹陷为例)[J]. 地学前缘, 2017, 24(3): 199-209.
Ji Hancheng, Li Haiquan, Chen Liang, et al. Composition and resource prediction of the Nanxiang Basin geothermal system: a case study the Biyang and Nanyang Sags[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(3): 199-209.
- [22] 刘运涛, 李扬, 张天增, 等. 河南省上蔡县地热资源预可行性勘查报告[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院, 2013.
Liu Yuntao, Li Yang, Zhang Tianzeng, et al. Pre-feasibility exploration report on geothermal resources in Shangcai County, Henan Province [R]. Zhengzhou: Fifth Geological Exploration Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2013.
- [23] 李香园, 吕志涛, 叶琳, 等. 河南省平舆县岩溶热储地热资源调查[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院, 2021.
Li Xiangyuan, Lü Zhitao, Ye Lin, et al. Investigation of karst geothermal resources in Pingyu County, Henan Province [R]. Zhengzhou: Fifth Geological Exploration Institute of Henan Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 2021.
- [24] 刘新建, 王伟峰, 郭东兴, 等. 河南省遂平县地热资源普查报告[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查开发局第一地质工程院, 2009.
Liu Xinjian, Wang Weifeng, Guo Dongxing, et al. Census report of geothermal resources in Suiping County, Henan Province [R]. Zhengzhou: First Geological Engineering Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2009.
- [25] 赵海军, 刘华平, 刘运涛, 等. 河南省遂平一带地热赋存规律研究[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院, 河南省水文地质工程地质技术应用中心, 2013.
Zhao Haijun, Liu Huaping, Liu Yuntao, et al. Study on the law of geothermal occurrence in Suiping area of Henan Province [R]. Zhengzhou: Fifth Geological Exploration Institute of Henan Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Henan Hydrogeological Engineering Geological Technology Application Center, 2013.
- [26] 吴继新, 刘华平, 刘新建, 等. 河南省新蔡县地热资源普查报告[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查开发局第一地质工程院, 2011.
Wu Jixin, Liu Huaping, Liu Xinjian, et al. Census report of geothermal resources in Xincai County, Henan Province [R]. Zhengzhou: First Geological Engineering Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2011.
- [27] 何争光, 刘池洋, 赵俊峰, 等. 华北克拉通南部地区现今地温场特征及其地质意义[J]. 地质评论, 2009, 55(3): 428-434.
He Zhengguang, Liu Chiyang, Zhao Junfeng, et al. A study on geothermal field and its geological significance in southern area of the North China Craton [J]. Geological Review, 2009, 55(3): 428-434.
- [28] 龚晓洁, 田良河, 袁锡泰. 河南平原区天然地热流体同位素特征对其成生环境的揭示[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(25): 33-37.
Gong Xiaojie, Tian Lianghe, Yuan Xitai. The isotope characteristics of natural geothermal fluid in Henan Plain reveal its formation environment [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(25): 33-37.
- [29] 张天增, 刘运涛, 赵海军, 等. 驻马店市地热流体年龄研究[J]. 西部资源, 2013(3): 155-158.
Zhang Tianzeng, Liu Yuntao, Zhao Haijun, et al. Study on geothermal fluid age in Zhumadian City [J]. Western Resources, 2013(3): 155-158.