

## 河南省沉积盆地区五大构造单元地热地质特征

黄光寿<sup>1,2</sup>, 郭丽丽<sup>3</sup>, 黄 凯<sup>3</sup>

1. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001; 2. 地下清洁能源勘查开发产业技术创新战略联盟, 河南 郑州 450001; 3. 河南省地质矿产局第五地质勘查院, 河南 郑州 450001

**摘 要:** 河南省沉积盆地区是地热资源的主要赋存区. 河南省有 11 个省辖市市区和 60 多个县城分布于沉积盆地区五大构造单元内. 对五大构造单元 524 眼地热井研究分析显示, 不同构造单元地热井的分布密度不均, 地热井的取水段深度相差较大. 五大构造单元平均取水段深度为这些地区施工地热井深度确定提供了依据. 五大构造单元地热井分布密度统计表明, 有三大构造单元地热井分布密度小于 0.9 眼/100 km<sup>2</sup>, 具有较大的开发空间.

**关键词:** 汤阴断陷; 内黄凸起; 济源-开封凹陷; 通许凸起; 周口凹陷; 地热地质; 河南省

## GEOHERMAL GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FIVE TECTONIC UNITS IN THE SEDIMENTARY BASINS OF HENAN PROVINCE

HUANG Guang-shou<sup>1,2</sup>, GUO Li-li<sup>3</sup>, HUANG Kai<sup>3</sup>

1. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, China;

2. Strategic Alliance for Technological Innovation of Underground Clean Energy Exploration and Development Industry, Zhengzhou 450001, China;

3. No. 5 Institute of Geological Exploration, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources, Zhengzhou 450001, China

**Abstract:** The sedimentary basins inside five tectonic units in Henan Province, involving 11 cities and more than 60 counties, is the main areas where geothermal resources occur. Analysis of 524 geothermal wells in the five tectonic units shows that the geothermal wells are unevenly distributed in different units, and the depths of water taking layers in the wells vary greatly. The average water taking depths of the five tectonic units provide a basis for the designing of geothermal wells in these areas. The distribution statistics of geothermal wells in the five tectonic units show that the distribution density in three units is less than 0.9 wells per 100 km<sup>2</sup>, with great potential for exploration.

**Key words:** Tangyin fault depression; Neihuang uplift; Jiyuan-Kaifeng depression; Tongxu uplift; Zhoukou depression; geothermal geology; Henan Province

### 0 概述

河南省地热资源主要赋存于沉积盆地区. 原河南省地质局地质科学研究所于 1978 年 12 月出版的《河

南省基岩地质图及说明书(1:50 万)》显示, 全省新生代最大沉积厚度周口凹陷大于 7000 m, 其次为东明断陷.

收稿日期: 2019-07-15; 修回日期: 2019-08-20. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“河南省地热资源现状调查评价与区划”(水[2013]-01-029-006).

作者简介: 黄光寿(1963—), 男, 高级工程师, 主要从事水文地质环境地质研究, 通信地址 河南省郑州市高新区科学大道 81 号, E-mail//469650616@qq.com

河南省主要城市地热地质工作:郑州市于1972年在全省率先施工了地热1#井(嵩山饭店)、地热2#井(空军医院),至今,凿建千米左右地热井180余眼,大部分水质达到矿泉水标准.地热井深度多在1200 m以浅,最深地热井省高速公路管理局深达2763.6 m,井口水温60℃.开封市地热井数量仅次于郑州市.开封市区及所辖各县市均有地热井分布,地热井深一般600~1300 m,最深超过1800 m,开发利用程度较高,但多以单井开发为主,未开展地热普查工作.洛阳市先后施工了多眼地热井,井口水温45~98.5℃,最大井深2500 m.地热地质总体研究程度较高.

根据地质构造特征,河南省沉积盆地可划分为16个构造亚区<sup>[1]</sup>.从收集到的河南省地热井分布分析,在不同构造亚区地热井的分布密度不均,地热井的取水段深度相差较大<sup>[2-5]</sup>.计算表明,各构造亚区地热水的可采资源模数大小不一<sup>[6-10]</sup>.河南省有11个省辖市市区和60多个县城分布在沉积盆地五大构造单元内.这五大构造单元面积占全省沉积盆地面积的63%.对这五大构造单元地热地质特征进行详细论述,可有效指导河南省沉积盆地地热资源的开发.

## 1 河南省沉积盆地地热分区

### 1.1 地热区概念

从研究地热的角度考虑,结合地温场成因机制、热储特征,认为地热区系指具有相同或相近似的地质构造及热储特征或地热显示的自然区域,规模成百或上千平方千米不等<sup>[11]</sup>.

### 1.2 地热区划分依据

河南省以往全省范围没有进行过系统的地热区划分,本文在研究前人成果的基础上,综合考虑地质构造、地貌景观、地温场成因机制、热储特征、地热显示等,尝试对全省范围进行地热区划分,划分为地热区和地热亚区.划分依据和边界的确定原则如下:

1)根据地热构造格局、地貌景观及地温场形成机制,划分为沉降盆地地热区和隆起山地地热区.沉降盆地地热区为燕山期以来的连续性下降区,地貌景观为负地形,一般沉积有较厚的中、新生界,地温场为传导型;隆起山地地热区,为燕山期以来的上升区,基本无中、新生界沉积,或不连续,或沉积厚度小,地貌景观为正地形,地温场为对流型.

2)地热亚区的划分主要以地质构造为依据,沉降盆地地热区还要考虑新生界堆积厚度及有无古近系堆积,将其作为划分凸起和凹(断)陷等地热亚区的基础.一般凹(断)陷区古近系沉积厚度大,凸起区无古近系沉积成沉积厚度薄.隆起山地地热区,根据构造特征及地热显示,按次一级的大地构造单元划分地热亚区.

3)一般将对地热资源具有一定影响的深大断裂构造作为地热区或亚区的边界,无深大断裂时,沉降盆地主要考虑新生代沉积或基底岩性确定其边界.

### 1.3 地热区划分

依据上述地热区划分原则,全省划分为沉降盆地和隆起山地两大地热区,其中沉降盆地地热区进一步划分为16个亚区,隆起山地地热区划分为4个亚区,见表1及图1.

表1 河南省地热分区表

Table 1 Zonation of geothermal units in Henan Province

地热区	地热亚区	地热区	地热亚区
沉降盆地	汤阴断陷	沉降盆地	驻马店凹陷
	内黄凸起		潢川山前凹陷
	东明断陷		灵宝三门峡断陷
	菏泽凸起		洛阳拗陷
	获嘉凹陷		汝河断陷
	济源-开封凹陷		南阳拗陷
	通许凸起		山西台隆
	周口凹陷		华熊台缘凹陷
	永城断陷褶皱带		嵩箕台隆
	平舆凸起		秦岭褶皱系
		隆起山地	

## 2 五大构造单元地热地质特征

河南省沉积盆地范围较大,形成起始于中生代,新生代继续下沉,堆积了巨厚的古近系、新近系及第四系.根据基底埋深、地层岩性、断裂等特征,将省内划分为12个地热亚区(田).本文主要论述河南省沉积盆地汤阴断陷、内黄凸起、济源-开封凹陷、通许凸起、周口凹陷五大构造单元(地热亚区)地热地质特征.

### 2.1 汤阴断陷地热亚区

#### 2.1.1 分区边界

该亚区位于太行山东侧,西部以青羊口山前断裂为界,东侧以太行山东麓断裂为界与内黄凸起地热亚

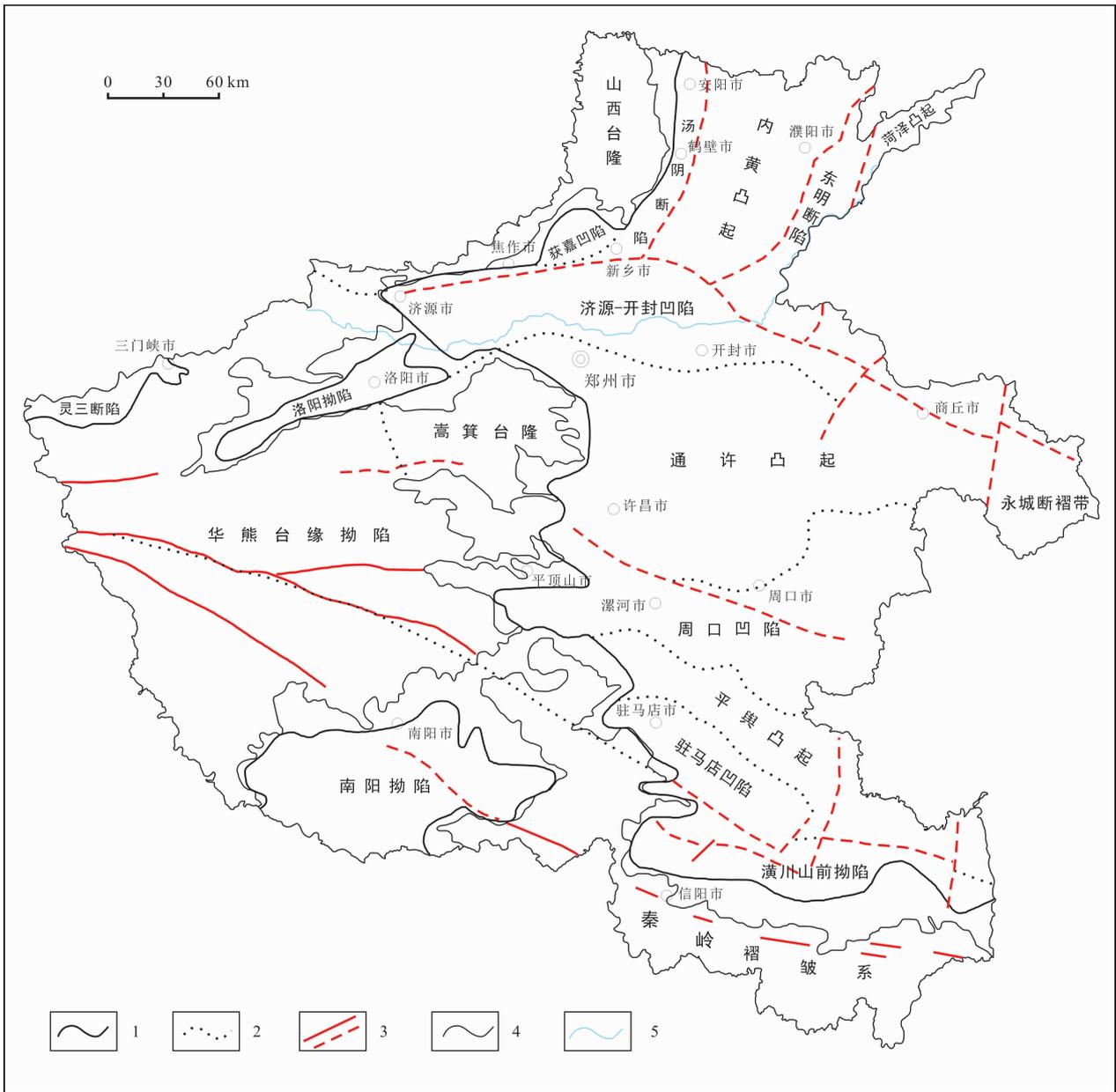


图1 河南省地热分区图

Fig. 1 Distribution of geothermal units in Henan Province

1—沉降盆地与隆起山地界线(boundary between depressed basin and uplift mountain); 2—地热分区界线(boundary of geothermal units); 3—断层(fault); 4—基岩出露界线(boundary of basement outcrop); 5—水系(river)

区相邻, 南侧以盘古寺断裂为界与济源-开封凹陷地热亚区相邻. 该地热分区呈北东向展布于安阳、鹤壁、新乡一带, 面积 1688 km<sup>2</sup>.

2.1.2 地热地质条件

汤阴断陷是新生代地堑式断陷, 主要受太行山东麓、青羊口和盘古寺 3 条断裂控制. 断陷基底为太古宇和古生界, 上覆层为新生界古近系、新近系及第四系. 断陷呈北东向长条状展布, 基底古地形起伏不平,

由北向南由多个次级小凹陷及小凸起组成. 断陷内新生界厚度变化较大, 凸起区一般 500~1500 m, 淇县东南最厚可达 3000 m 以上, 西南端修武以西厚度不足 500 m.

2.1.3 热储特征

断陷内热储自上而下可分为新近系松散岩类热储层、古近系松散半松散岩类热储层和古生界寒武—奥陶系碳酸盐岩类热储层.

### 1) 新近系热储层

顶板埋深 0~422.5 m, 底板埋深 200~1000 m, 安阳市区及新乡东部大于 1000 m. 水温大于 25 °C 地热流体实际埋深在 400 m 以下.

主要含水介质岩性为细砂、中细砂, 其次为粉砂、粗砂、砾砂, 单层厚度 2~42.8 m, 累计厚度占地层总厚度的 14.7%~44.1%, 孔隙度 26%~30%. 新乡、安阳一带静水位埋深 7~31.42 m, 淇县一带自流. 地热井单井涌水量 200~1350 m<sup>3</sup>/d, 水温 46 °C. 水化学类型为 Cl·SO<sub>4</sub>-Na 型, 总溶固 1.12~3.21 g/L.

该热储层的盖层为新近系顶部泥岩及上覆第四系的黏性土, 保温性能良好.

### 2) 古近系热储层

埋深 550~1500 m, 安阳市区局部及鹤壁一带大于 1500 m.

含水介质主要为粉砂岩、细砂岩及砾岩, 含水介质占地层厚度的 20%~30%. 孔隙度 20%~23%. 据安阳电业新村地热井资料, 静水位埋深 5.91 m, 单井涌水量 1440 m<sup>3</sup>/d, 水温 52 °C, 水化学类型为 Cl-Na 型, 总溶固 1.10 g/L.

### 3) 古生界寒武—奥陶系热储层

埋深西浅东深, 中部鹤壁市淇滨新区浅, 南部新乡东—安阳深. 获嘉—修武地堑区埋深一般 1000~2000 m, 其他地区埋深一般大于 2000 m, 安阳市区埋深大于 5000 m. 热储盖层为上覆巨厚的上古生界及新生界, 隔热保温性能好.

该热储层的地下水补给源主要为西部山区降雨, 以断裂、裂隙发育带为通道. 由于青羊口断裂断距较大, 断层两侧含水层不对接, 中间相隔厚的砂岩、泥岩及片麻岩, 补给条件差. 排泄方式为通过断裂带顶托补给上部含水介质. 天然条件下地下水径流滞缓, 几乎处于停滞状态.

#### 2.1.4 地温场特征

本区地温梯度一般 2.5~3.25 °C/100 m. 鹤壁新区以北及修武以西小于 2.5 °C/100 m, 新乡以东、卫辉以南地区大于 3.0 °C/100 m. 新乡洪门受断裂影响地温异常, 地温梯度达 3.5 °C/100 m 以上. 埋深 1000 m 处地温一般为 38~40 °C.

至 2014 年底, 汤阴断陷区有地热井 27 眼, 地热井密度 1.6 眼/100 km<sup>2</sup>, 地热井取水段平均深度 421~

1215 m.

## 2.2 内黄凸起地热亚区

### 2.2.1 分区边界

该亚区西侧以太行山东麓断裂为界与汤阴断陷地热亚区相邻, 东侧以长垣断裂为界与东明断陷相邻, 南侧以新乡—商丘断裂为界与济源—开封凹陷地热亚区相邻, 北侧以省界为界. 包含安阳、鹤壁及新乡三市域的东部和濮阳市区及濮阳市域的西部区域, 面积 8100 km<sup>2</sup>.

### 2.2.2 地热地质条件

内黄凸起地热亚区基底为太古宇和古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系, 上覆层以新生界新近系及第四系为主, 东部和南、北部边缘有古近系. 基底地形中西部高, 向东、南、北方向倾斜, 基底地层的展布与古地形一致, 核部为太古宇, 沿倾斜方向依次为寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系.

新生界厚度一般 500~2000 m, 中西部最薄处仅 200~300 m, 东南、北部边缘地带厚度可达 3000 m 以上.

### 2.2.3 热储特征

区内热储层主要有新近系明化镇组热储层、新近系馆陶组热储层、古近系热储层和古生界寒武—奥陶系热储层.

#### 1) 新近系明化镇组热储层

热储层顶板埋深 400 m, 底板埋深 900~1300 m, 厚度 400~900 m.

主要含水介质岩性为粗砂、含砾粗砂, 其次为细砂, 累计厚度占相应地层厚度的 25.6%~44.6%, 单层厚度 1.5~3.7 m, 孔隙度 30%~40%. 静水位埋深濮阳—清丰一带 30~11.2 m, 滑县一带 11.6~17.5 m. 地热井单井涌水量 500~1000 m<sup>3</sup>/d, 水温 45 °C. 水化学类型为 SO<sub>4</sub>·Cl-Na、HCO<sub>3</sub>-Na 型, 总溶固 0.86~1.76 g/L.

热储层盖层为新近系顶部及上覆第四系的黏性土层.

#### 2) 新近系馆陶组热储层

主要分布在濮阳市区—延津县塔普一线东南地区, 顶板埋深 900~1300 m, 底板埋深 1600~2000 m, 厚度一般小于 500 m.

根据濮阳中油二招钻探资料, 含水介质主要岩性为细砂, 厚度占地层厚度的 30%. 濮阳及南乐一带, 静水

位埋深 15~20 m,单井涌水量 500~700 m<sup>3</sup>/d,水温 47 ℃. 水化学类型为 Cl·SO<sub>4</sub>-Na 型,总溶固 1.83~2.53 g/L.

### 3)古近系热储层

主要分布在滑县上官镇以南及内黄县城以北地区. 热储层顶板埋深 1600~2000 m, 底板埋深 2000~3000 m.

含水介质主要为粉砂岩、细砂岩,含水介质厚度小于 250 m,占地层厚度的 34%. 孔隙度 18%~20%. 该热储层缺少抽水资料,根据区域岩性分析,含水介质富水性较差.

### 4)古生界寒武—奥陶系热储层

除浚县西北和内黄县楚旺西北地区缺失外,其他地区均有分布. 热储层岩性为碳酸盐岩,顶板埋深 500~4000 m. 濮阳市区一带以西 1000~1100 m,以东超过 2000 m. 根据区域资料,地层总厚度约为 1200 m,碳酸盐岩裂隙、岩溶发育段约 400~500 m,随深度增加,裂隙、岩溶发育程度逐渐减弱. 富水性视裂隙、岩溶发育程度而不均,裂隙、岩溶发育处较富水.

## 2.2.4 地温场特征

本区地温梯度总体具南高北低特征. 滑县—濮阳以南地温梯度大于 3.0 ℃/100 m,西南部最高大于 3.5 ℃/100 m,向北地温梯度逐渐降低,内黄县楚旺闸北小于 2.5 ℃/100 m. 埋深 1000 m 处地温一般为 40~50 ℃,南部高于北部.

至 2014 年底,内黄凸起区有地热井 20 眼,地热井密度 0.2 眼/100 km<sup>2</sup>,地热井取水段平均深度 396~1002 m.

## 2.3 济源—开封凹陷地热亚区

### 2.3.1 分区边界

分布在济源、开封、民权一带,沿黄河呈近东西向展布. 北侧以盘古寺断裂及新乡—商丘断裂为界分别与汤阴断陷、内黄凸起、东明断陷及菏泽凸起相邻,南侧大致以郑州—民权断裂为界与通许凸起为邻,西侧以五指岭断裂为界,东以聊兰断裂为界. 总面积 8618 km<sup>2</sup>.

### 2.3.2 地热地质条件

该地热亚区基底主要为古生界,局部地区为太古宇变质岩系. 其内堆积了巨厚的中生界侏罗系、白垩系和新生界古近系、新近系及第四系.

本区构造线为近东西向. 断裂较发育,主要有近东西向、北东向及北西向,受新乡—商丘断裂长期活动

影响,凹陷呈现北深南浅的箕状断凹或凹陷.

### 2.3.3 热储特征

区内热储层主要有新近系明化镇组及馆陶组热储层、古近系热储层,其次为古生界寒武—奥陶系热储层<sup>[12]</sup>.

#### 1)新近系明化镇组热储层

热储层顶板埋深 400 m, 底板埋深 800~1700 m, 厚度 400~1000 m. 主要含水介质岩性为细砂、中细砂、粗砂及含泥质砂, 累计厚度占相应地层厚度的 27%~60%, 单层厚度 5~30 m, 孔隙度 30%~40%. 静水位埋深 20~35 m. 地热井单井涌水量 500~1200 m<sup>3</sup>/d, 水温 45~47 ℃. 水化学类型以 HCO<sub>3</sub>-Na 型为主, 其次为 HCO<sub>3</sub>·Cl-Na, 总溶固 0.71~1.68 g/L.

热储层盖层为新近系顶部及上覆第四系的黏性土层.

#### 2)新近系馆陶组热储层

顶板埋深 800~1700 m, 底板埋深 1700~2500 m, 厚度 200~800 m. 凹陷北厚南薄、东西两侧薄,局部缺失.

主要含水介质岩性下部以灰岩、泥灰岩、钙质砂岩为主;中部以细砂及疏松砂、含砾砂为主;上部以细砂及粉砂为主. 累计厚度约占相应地层厚度 50%, 孔隙度 25%~30%. 据开封通信公司地热井(井深 1580 m)资料,单井涌水量 720 m<sup>3</sup>/d,水温 51 ℃. 水化学类型为 Cl-Na 型,总溶固 4.75g/L.

#### 3)古近系热储层

济源次凹顶板埋深 400 m 左右, 底板埋深 1000~6000 m; 开封次凹顶板埋深 1700~2500 m, 底板埋深 2000~6000 m.

含水介质主要为细砂岩、泥质砂岩,占地层厚度的 20%. 根据温县公安局新院地热井资料,静水位埋深 20 m. 水位降深 125 m,单井涌水量 578 m<sup>3</sup>/d,水温 42 ℃. 水化学类型为 SO<sub>4</sub>-Ca 型,总溶固 3.76~8.96 g/L.

#### 4)古生界寒武—奥陶系热储层

主要分布在武陟凸起, 凹陷区边缘零星分布. 热储层岩性为碳酸盐岩, 顶板埋深 500~2000 m. 上覆上古生界及新生界,保温性能较好.

## 2.3.4 地温场特征

本区地温梯度一般为 2.5~3.0 ℃/100 m. 济源次凹南高北低,开封次凹西低东高,开封以东大于 3.0 ℃/100 m.

千米埋深处地温一般 40~50 °C. 济源次凹南部高于北部, 孟州 45.88 °C, 沁阳 40.12 °C.

至 2014 年底, 济源-开封凹陷区有地热井 70 眼, 地热井密度 0.8 眼/100 km<sup>2</sup>, 地热井取水段平均深度 520~3415 m.

## 2.4 通许凸起地热亚区

### 2.4.1 分区边界

北侧西、东段分别以郑州-民权断裂及新乡-商丘断裂为界与济源-开封凹陷及菏泽凸起为邻, 东侧以济阳断裂为界与永城断褶带相邻, 南侧大致以临颖-周口-柘城-线为界与周口凹陷相邻, 西至嵩箕山前. 面积 20465 km<sup>2</sup>. 郑州、许昌及商丘三城市市区位于该区.

### 2.4.2 地热地质条件

该地热亚区为嵩箕山脉的东延, 基底地质构造特征与嵩箕山区相似. 基底主要由太古宇、元古宇、古生界组成. 断裂较发育, 主要为东西、北东、北西向, 将基底切割成支离破碎的断块状, 局部形成新生代小断陷.

区内新生代沉积以新近系及第四系为主, 古近系主要沉积在凸起南部, 其次为北部边缘地带. 新生界厚度一般 500~1000 m, 凸起的南北两侧及局部小断陷内厚度较大, 最大达 2000 m 以上. 郑州市大部分地段古近系缺失, 东北部新生界厚度在 2000~2500 m.

### 2.4.3 热储特征

区内主要热储层有新近系明化镇组及馆陶组、古近系热储层、古生界寒武-奥陶系热储层.

#### 1) 新近系明化镇组热储层

除山前地段外, 其他区域均有分布. 热储层顶板埋深 400 m 左右, 底板埋深 500~900 m, 厚度 300~500 m. 地层西厚东薄, 南北两侧厚中间薄.

主要含水介质岩性为中细砂、粉砂、粗砂及含砾砂, 累计厚度占地层厚度的 30%~36%, 单层厚度 5~20 m, 最厚达 40 m, 孔隙度 25%~30%. 静水位埋深郑州市区一般为 60~70 m, 最大达 90 m 左右, 尉氏一带为 40~30 m, 商丘市区一般 30~50 m, 最大达 80 m. 单井涌水量 700~1600 m<sup>3</sup>/d, 水温 42 °C. 水化学类型以 HCO<sub>3</sub>-Na 型为主, 其次为 HCO<sub>3</sub>-Na·Ca、HCO<sub>3</sub>·Cl-Na 型, 总溶固 0.56~2.19 g/L.

#### 2) 新近系馆陶组热储层

主要分布在区内南部及北部. 顶板埋深 800~1100 m, 底板埋深 900~1500 m, 厚度 100~700 m.

主要含水介质岩性为中细砂、含砾砂、粉砂. 累计厚度占地层厚度的 35%~46%, 单层厚度 5~30 m, 孔隙度 20%~25%. 静水位埋深郑州市区一般为 70~80 m, 最大 100 m 左右, 尉氏及通许地带为 30~20 m, 许昌-鄢陵为 5~20 m, 临颖一带 30~35 m, 太康及西华、扶沟一带为 15~20 m. 单井涌水量 500~1600 m<sup>3</sup>/d, 水温 54 °C. 水化学类型以 HCO<sub>3</sub>-Na、SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>-Na 及 Cl-Na 型为主, 总溶固 0.45~2.9 g/L.

#### 3) 古近系热储层

主要分布在区内南部. 顶板埋深 1000~1400 m, 底板埋深 1600~2000 m.

含水介质主要为粉细砂岩, 占地层厚度的 20%.

#### 4) 古生界寒武-奥陶系热储层

主要分布在中部地带. 顶板埋深 500~2000 m, 上覆盖层为上古生界及新生界. 热储层岩性为灰岩、白云质灰岩及白云岩. 岩溶裂隙发育好, 具地下水储存空间, 埋藏深度适当, 热储层条件较好. 根据郑州煤田勘探资料, 新郑 1802 孔, 深 494 m, 石炭系灰岩涌水量达 467 m<sup>3</sup>/d, 水温 40 °C, 总溶固 0.73 g/L, 水源可能为下部寒武-奥陶系岩溶裂隙水沿断裂带上涌形成.

## 2.4.4 地温场特征

本区地温梯度一般 2.75~4.0 °C/100 m, 中部高、东西部略低, 鄢陵附近东西向断裂发育, 导热有利, 地温梯度达 4.0 °C/100 m. 千米埋深处地温一般 40~50 °C, 鄢陵附近最高为 56.6 °C.

至 2014 年底, 通许凸起区有地热井 308 眼, 地热井密度 1.01 眼/100 km<sup>2</sup>, 地热井取水段平均深度 370~1171 m.

## 2.5 周口凹陷地热亚区

### 2.5.1 分区边界

北侧大致以临颖-周口-柘城-线为界与通许凸起相邻, 南侧大致以舞阳-上蔡-线为界与平舆凸起为邻, 西起叶县和襄城, 东以省界为界. 面积 12113 km<sup>2</sup>.

### 2.5.2 地热地质条件

该地热亚区基底为古生界、元古宇, 局部为太古宇. 凹陷内北东、北西西向断裂发育, 基地起伏变化大, 为一多凸多凹的复杂凹陷盆地. 西部有叶县次凹, 东部大致以临颖-沈丘断裂为界分为沈丘次凹和鹿邑次凹, 二者之间为郸城凸起.

区内新生界发育齐全, 厚度受基底起伏影响变化

较大,一般 2000~4000 m,凹陷中心部位厚达 7000 m 以上,郸城凸起厚度小于 1500 m. 受构造影响,基底呈深浅不一的箕状.

### 2.5.3 热储特征

区内热储层主要有新近系明化镇组及馆陶组热储层,古近系热储层、古生界寒武—奥陶系热储层分布范围小<sup>[13]</sup>.

#### 1) 新近系明化镇组热储层

除叶县次凹外,其他区域均有分布. 热储层顶板埋深 400 m 左右,底板埋深一般 500~1100 m,厚度 100~700 m,地层变化特征为东厚西薄、中间厚南北两侧薄.

主要含水介质岩性为中细砂、粉砂,累计厚度占地层厚度的 30%~50%. 静水位埋深漯河市 10~20 m,周口市 15~20 m,淮阳一带为 5~10 m. 单井涌水量一般 1000~2000 m<sup>3</sup>/d,水温 51 ℃. 水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Na、HCO<sub>3</sub> Cl-Na、HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>-Na 型,总溶固一般为 0.69~1.57 g/L.

#### 2) 新近系馆陶组热储层

分布区域大致同明化镇组,但范围小,厚度薄. 顶板埋深 800~1100 m,底板埋深 1300~1500 m. 主要含水介质岩性中细砂、粉砂,底部为含砾砂. 静水位埋深漯河市 20~30 m,周口市 5~10 m,淮阳一带为 5~10 m. 单井涌水量一般 800~1500 m<sup>3</sup>/d,水温 53 ℃. 水质较上层差,水化学类型漯河一带主要为 Cl-Na·Ca 及 SO<sub>4</sub>·Cl-Na 型,周口一带主要为 HCO<sub>3</sub>(HCO<sub>3</sub>·Cl)-Na 型. 总溶固 0.88~7.06 g/L,漯河较高.

#### 3) 古近系热储层

主要分布于次级凹陷内. 顶板埋深 1400~1800 m,底板埋深一般 3000~4000 m. 厚度 1000~3000 m,盆地中心可达 5000 m.

含水介质主要为粉细砂岩、细砂岩及含砾砂岩、灰岩等,累计厚度占地层厚度的 20%左右. 依据形成的地质环境条件分析,热储层水质差,特别是西部叶县盐田盆地,埋深 1200~3000 m 深度含盐岩矿层,总溶固高.

#### 4) 古生界寒武—奥陶系热储层

主要分布在中部地带. 顶板埋深 2000~4000 m. 热储层岩性为寒武—奥陶系灰岩、白云质灰岩及白云岩. 上覆盖层为上古生界、中生界及新生界.

### 2.5.4 地温场特征

本区地温梯度一般 2.75~3.5 ℃/100 m,西部低,东部稍高. 千米埋深处地温一般 40~50 ℃. 据叶县盐田马 1 井测温资料: 30 m 井深,地温 17.3 ℃; 300 m 井深,地温 24.3 ℃; 700 m 井深,地温 33.2 ℃; 1010 m 井深,地温 41.7 ℃. 700 m 以上地温梯度略小于 700 m 以下.

至 2014 年底,周口凹陷区有地热井 99 眼,地热井密度 0.82 眼/100 km<sup>2</sup>,地热井取水段平均深度 471~3200 m.

## 3 结论

1) 安阳市区、鹤壁市区、新乡市区均分布于汤阴断陷内;濮阳市区位于内黄凸起区;开封市区、济源市区分布于济源—开封凹陷区;郑州市区、许昌市区、商丘市区处于通许凸起区;漯河市、周口市处于周口凹陷区. 五大构造单元地热地质特征可为上述 11 个城市和 60 多个县城寻找地热水提供参考.

2) 汤阴断陷区地热井取水段平均深度 421~1215 m; 内黄凸起区地热井取水段平均深度 396~1002 m; 济源—开封凹陷区地热井取水段平均深度 520~3415 m; 通许凸起区地热井取水段平均深度 370~1171 m; 周口凹陷区地热井取水段平均深度 471~3200 m. 五大构造单元地热井取水段平均深度为这些地区施工地热井深度确定提供了依据.

3) 新生界在济源—开封凹陷的郑州以东地段,地热水可采资源模数大于 20×10<sup>8</sup> kJ/km<sup>2</sup>·a, 热水资源丰富;在济源—开封凹陷的西段,地热水可采资源模数 10×10<sup>8</sup>~20×10<sup>8</sup> kJ/km<sup>2</sup>·a, 热水资源较丰富;其他 4 个构造单元地热水可采资源模数介于 1×10<sup>8</sup>~10×10<sup>8</sup> kJ/km<sup>2</sup>·a 之间,热水资源一般. 地热水资源分布深度不一,其中在通许凸起和内黄凸起内埋藏相对较浅,开采条件相对较好.

4) 汤阴断陷区目前有地热井 27 眼,地热井密度 1.6 眼/100 km<sup>2</sup>;内黄凸起区目前有地热井 20 眼,地热井密度 0.2 眼/100 km<sup>2</sup>;济源—开封凹陷区目前有地热井 70 眼,地热井密度 0.8 眼/100 km<sup>2</sup>;通许凸起区目前有地热井 308 眼,地热井密度 1.01 眼/100 km<sup>2</sup>;周口凹陷区目前有地热井 99 眼,地热井密度 0.82 眼/100 km<sup>2</sup>. 除汤阴断陷、通许凸起外,其他 3 个构造单元地热井分

布密度均小于 0.9 眼/100 km<sup>2</sup>, 有较大的开发空间。

5) 地热流体资源量计算表明, 这五大构造单元地热流体热量潜力模数均介于  $10 \times 10^8 \sim 60 \times 10^8$  kJ/km<sup>2</sup>·a 之间, 表明有较大的开采潜力。

### 参考文献:

- [1] 王现国, 张慧, 张娟娟. 开封凹陷区地热水水化学特征及同位素分析[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(6): 88-92.
- [2] 李海林. 郑州市郑东新区深部地热资源研究[J]. 地下水, 2011, 33(4): 7-10.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 王肖凤, 符勇, 康彩艳. 南阳盆地地热特征与开发利用前景[J]. 平顶山学院学报, 2010, 25(2): 122-125.
- [6] 商真平, 姚兰兰. 商丘市城区可采地热资源量计算分析[J]. 人民黄河, 2009, 31(5): 62, 64.
- [7] 张心勇, 马传明. 开封凹陷区地温场特征分析[J]. 工程勘察, 2009, 37(10): 44-49.
- [8] 齐玉峰. 河南省开封凹陷区地热田地热资源分析[J]. 西南科技大学学报, 2009, 24(3): 75-78.
- [9] 刘传权, 郭克剑. 郑州市城区深部基岩层热储特征分析[J]. 华南地质与矿产, 2008(2): 58-61.
- [10] 黄光寿, 郭丽丽, 黄凯. 河南省十大温泉地热地质特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 91-100.
- [11] 张满波, 武秀江, 吴双红. 河南省地热资源形势及开发利用潜力分析[J]. 地下水, 2008, 30(4): 45, 70.
- [12] 齐玉峰, 王现国, 王关杰, 等. 开封凹陷区地热资源开发利用与保护[J]. 地下水, 2007, 29(4): 77-79.
- [13] 郭山峰, 王春晖, 吴祖成. 周口市地热资源浅析及水文地质参数计算[J]. 地下水, 2006, 28(6): 32-33.
- [5] 付国燕. 基于“3S”的共和盆地近 20a 土地利用/土地覆被及其景观格局变化分析[D]. 西宁: 青海师范大学, 2014.
- [6] 周丹, 杨武年. 基于 3S 技术的隆昌县土地利用/覆被动态监测[J]. 地理空间信息, 2014, 12(5): 72-74.
- [7] 徐志涛, 陈鹏飞, 周世健, 等. 白洋淀流域土地覆被变化及其生态服务价值评价[J]. 生态科学, 2018, 37(6): 83-90.
- [8] 张永. 石羊河流域植被覆盖与荒漠化动态研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [9] 唐志光, 马金辉, 李朝奎, 等. 石羊河流域上游植被时空变化及其对区域气候的响应[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(3): 116-120.
- [10] 魏伟, 石培基, 赵军, 等. 石羊河流域海拔、植被覆盖与景观类型空间关系研究[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 91-98.
- [11] 贾焰, 张军, 张仁陟. 2001-2011 年石羊河流域水资源生态足迹研究[J]. 草业学报, 2016, 25(2): 10-17.
- [12] 魏伟, 石培基, 周俊菊, 等. 基于 GIS 和组合赋权法的石羊河流域生态环境质量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(1): 175-180.
- [13] 李传华, 赵军. 2000-2010 年石羊河流域 NPP 时空变化及驱动因子[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 712-718.
- [14] 张瑞君, 段争虎, 谭明亮, 等. 石羊河流域天然植被生态需水量估算及预测[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 545-550.
- [15] 魏伟, 石培基, 周俊菊, 等. 近 20 多年来石羊河流域景观格局演变特征[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2): 156-161.
- [16] 韩兰英, 王宝鉴, 张正德, 等. 基于 RS 的石羊河流域植被覆盖度动态监测[J]. 草业科学, 2008, 25(2): 11-15.
- [17] 蓝欣, 郑碧玉, 江帆, 等. 石羊河流域下游植被覆盖变化与地下水和气候的响应分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015, 51(6): 865-870, 876.
- [18] 文星, 段朝晨, 廖杰, 等. 石羊河流域植被指数时空变化及荒漠化遥感监测[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(S1): 415-422.
- [19] 王锦, 路京选, 王志强, 等. 基于 MODIS 植被指数的民勤绿洲演变分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(4): 266-270.
- [20] 韩涛, 王大为. 2000-2014 年石羊河流域植被覆盖变化研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(13): 66-74.
- [21] 周兰萍, 魏怀东, 丁峰, 等. 1973-2010 年石羊河流域耕地时空变化研究[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 483-491.
- [22] 俞永慧, 迪丽达尔·艾再提约麦尔, 马静, 等. 石羊河上游土地利用/覆被动态变化及重心转移研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2018, 37(1): 12-20.
- [23] 石培基, 王祖静, 刘春芳. 石羊河流域土地覆被空间演化及驱动机制[J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4361-4371.
- [24] 马爱功, 王杰. 干旱半干旱地区土地利用/覆被变化研究——以民勤绿洲为例[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2008, 29(3): 81-84.

(上接第 171 页 /Continued from Page 171)