

开封市“十四五”地热供暖 发展规划 (2021-2025)

开封市发展和改革委员会

2021年11月

目 录

序言	1
1 前言	2
1.1 项目背景	2
1.2 区域地热资源概况	5
2 规划基础和发展形势	11
2.1 规划区区域地质背景	11
2.2 规划区地热地质条件	12
2.3 浅层地温能	18
2.4 中深层地热资源	24
2.5 发展形势和必要性	35
3 指导思想和目标	39
3.1 指导思想	39
3.2 规划思路	39
3.3 基本原则	39
3.4 规划依据	40
3.5 规划任务及范围	42
3.6 发展目标	43
4 重点任务	44
4.1 开发建设原则	44
4.2 资源开发总体方案	45
4.3 地热资源开发利用市场需求分析	45
4.4 地热资源开发利用重点规划	46
5 保障措施	49
5.1 加强政府统筹协调	49
5.2 规范开发管理流程	49

5.3 营造良好市场环境	49
5.4 积极探索实施特许经营模式	50
5.5 提高信息管理水平	50
5.6 加快推动产业创新	50
6 投资估算和效益分析	51
6.1 投资估算及经济效益	51
6.2 社会效益分析	51
7 环境影响分析	53
7.1 环境影响因素分析	53
7.2 监督和管理方案建议	54
8 风险及对策分析	56
8.1 资源风险	56
8.2 回灌风险	56
8.3 地质灾害风险	57
9 远景展望	58
9.1 产业体系建设	58
9.2 清洁能源综合利用	60
9.3 智慧化展望	61

序言

《开封市地热供暖规划（2021-2025）》编制时，开封市十四五城市总体规划、国土空间总体规划、矿产资源规划、水资源利用规划、地热能利用专项规划、集中供热专项规划等正在编制过程中，尚未完成。因此，本规划未能与这些规划衔接。

为了确保本次地热供暖规划符合开封市的发展的要求，确保规划的一致性和可执行性，在开封市十四五城市总体规划、国土空间总体规划、矿产资源规划、水资源利用规划、地热能利用专项规划、集中供热专项规划等编制期间，《开封市地热供暖规划（2021-2025）》与以上有关规划主动相应衔接，必要时可进行适当调整。

1 前言

1.1 项目背景

1.1.1 地区社会经济现状

(1) 河南省

河南省位于我国中东部、黄河中下游，介于北纬 31°23'~36°22'，东经 110°21'~116°39'之间，东接安徽、山东，北界河北、山西，西连陕西，南临湖北。全省地势西高东低，总面积 16.7 万 km²，平原盆地、山地和丘陵分别占总面积的 55.7%、26.6%和 17.7%。河南是全国人口大省，根据 2020 年 11 月 1 日最新人口普查数据，河南人口 9936 万。河南省属北亚热带向暖温带过渡的大陆性季风气候，同时还具有自东向西由平原向丘陵山地气候过渡的特征，具有四季分明、雨热同期、复杂多样和气象灾害频繁的特点。

河南省是我国经济由东向西梯次推进发展的中间地带，经济总量持续居于全国前列。2020 年，河南省生产总值 54997.07 亿元，按可比价格计算，比上年增长 1.3%。其中第一产业增加值 5353.74 亿元，增长 2.2%；第二产业增加值 22875.33 亿元，增长 0.7%；第三产业增加值 26768.01 亿元，增长 1.6%。

(2) 开封市

开封市地处河南省东部，中原腹地，地势平坦，土壤肥沃，东接商丘市，西与郑州市毗邻，南接许昌市、周口市，北与新乡市隔黄河相望。全市总面积 6247km²，全市总人口 527.77 万。开封市属温带大陆性季风气候，四季分明，冬季寒冷干燥，春季干旱多风，夏季高温多雨，秋季天高气爽，多年平均气温 14.5℃，年平均降水量 627.5mm，无霜期 221 天

开封市地处豫北平原核心腹地，是中原地区重要的工业城市，中原城市群核心城市之一。2020 年全市生产总值 2371.83 亿元，比上年增长 2.0%。其中，第一产业增加值 363.62 亿元，增长 2.5%；第二产业增加值 897.27 亿元，增长 2.1%；第三产业增加值 1110.94 亿元，增长 1.6%。三次产业结构为 15.3：37.8：46.9。

1.1.2 地区供暖现状

开封市作为“2+26”京津冀大气污染传输通道城市和北方清洁取暖试点城市成员，依据《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》和国家大气污染防治部署，

按照《开封市集中供热规划（2013-2020）》及省、市政府下达的各项任务和要求，经过近年不断建设，开封市集中供热管网现状为东起青年路，西至中牟边界；北起连霍高速、南至 310 国道，长度已达 381 公里，详见后附《开封市金盛热力有限公司供热管网平面图》。截至 2021 年初，集中供热总入网面积已达 3400 万平方米。目前供热主管网已按照开封市城市集中供热规划实施，基本框架已经形成，开封市已实现城区供热基本覆盖，形成了东京大道-东环路-复兴大道-五大街-汉兴路-金明大道-魏都路-五一路-滨河路-工农路的大环网框架，环状网内有劳动路、新曹路、滨河路、西环路、黄河大街、夷山大街、集英街、五大街、职教路、金耀路、晋安路、华夏大道、机场东路等各支干管网。目前开封市热电联产技术改造西区供暖项目—供热 DN1400 长输主干网和隔压站工程竣工已投运，提升了西区供热品质。

开封市供热系统仍以燃煤电厂为主。燃煤电厂在消耗煤炭资源的同时，还产生了大量的 SO₂、CO₂、CO、NO_x 和烟尘等污染环境和造成温室效应的有害气体，会对环境和生态造成不利的影响，以煤炭为主的能源结构使得开封市社会经济发展承受着巨大的环境压力。

在地热供暖工程方面，据不完全统计，开封市现有 30 个地热供暖项目投运，如下表 1 与图 1 所示：

表 1 开封市部分地热供暖项目

序号	项目名称	所属区域	项目规模 (万m ²)	项目时间	技术路线
1	通许县人民医院康复中心项目	通许县	5.13	2017	浅层地热能利用
2	开封东原康复医院 2 号楼	通许县	2.73	2019	浅层地热能利用
3	晖达新世界二期商业中央空调工程	城乡一体化示范区	1.20	2017	浅层地热能利用
4	东方国际一期	祥符区	14.95	2018	浅层地热能利用
5	水榭花都	通许县	14.00	2018	浅层地热能利用
6	瑞通嘉园	通许县	19.10	2018	浅层地热能利用
7	宋韵名都小区	鼓楼区	2.60	2018	浅层地热能利用
8	御龙湾	鼓楼区	6.7	2019	浅层地热能利用
9	河南大学民生学院水源热泵空调、热水工程	城乡一体化示范区	4.00	2019	浅层地热能利用
10	尉氏县中心医院	尉氏县	10.00	2019	浅层地热能利用
11	东方物探六四六基地地热供暖项目	顺河区	15.00	2017	中深层地热利用
12	地热能梯级利用项目	城乡一体化示范区	22.00	2017	中深层地热利用

13	立洋小学	顺河区	0.91	2017	中深层地热利用
14	宏宇国际城	尉氏县	42.00	2017	中深层地热利用
15	世纪第一城南区	尉氏县	22.00	2017	中深层地热利用
16	世纪第一城北区	尉氏县	18.00	2017	中深层地热利用
17	汇金华府 A 区	尉氏县	13.00	2017	中深层地热利用
18	兰考县绿能中深层地热能利用项目	兰考县	165.9	2018	中深层地热利用
19	尉氏万江中深层地热能利用项目	尉氏县	131.20	2018	中深层地热利用
20	芳邻一品小区	城乡一体化示范区	2.30	2018	中深层地热利用
21	开封市武警花园小区	城乡一体化示范区	3.55	2018	中深层地热利用
22	天泰欧洲豪园	尉氏县	13.08	2018	中深层地热利用
23	兰考县中石化新星中深层地热能利用项目	兰考县	190.80	2019	中深层地热利用
24	兰考县绿能中深层地热能利用项目	兰考县	193.20	2019	中深层地热利用
25	龙昇丽景地热供暖项目	城乡一体化示范区	66.68	2019	中深层地热利用
26	龙亭区新绿源地热利用项目	龙亭区	33.08	2019	中深层地热利用
27	顺河区宝石花中深层地热供暖项目	顺河区	49.74	2019	中深层地热利用
28	禹王台区新清源地热利用项目	禹王台区	3.50	2019	中深层地热利用
29	尉氏万江 2019 年中深层地热能利用项目	尉氏县	50.94	2019	中深层地热利用
30	尉氏县居安智慧能源地热利用项目	尉氏县	41.87	2019	中深层地热利用
	合计		1159.16		

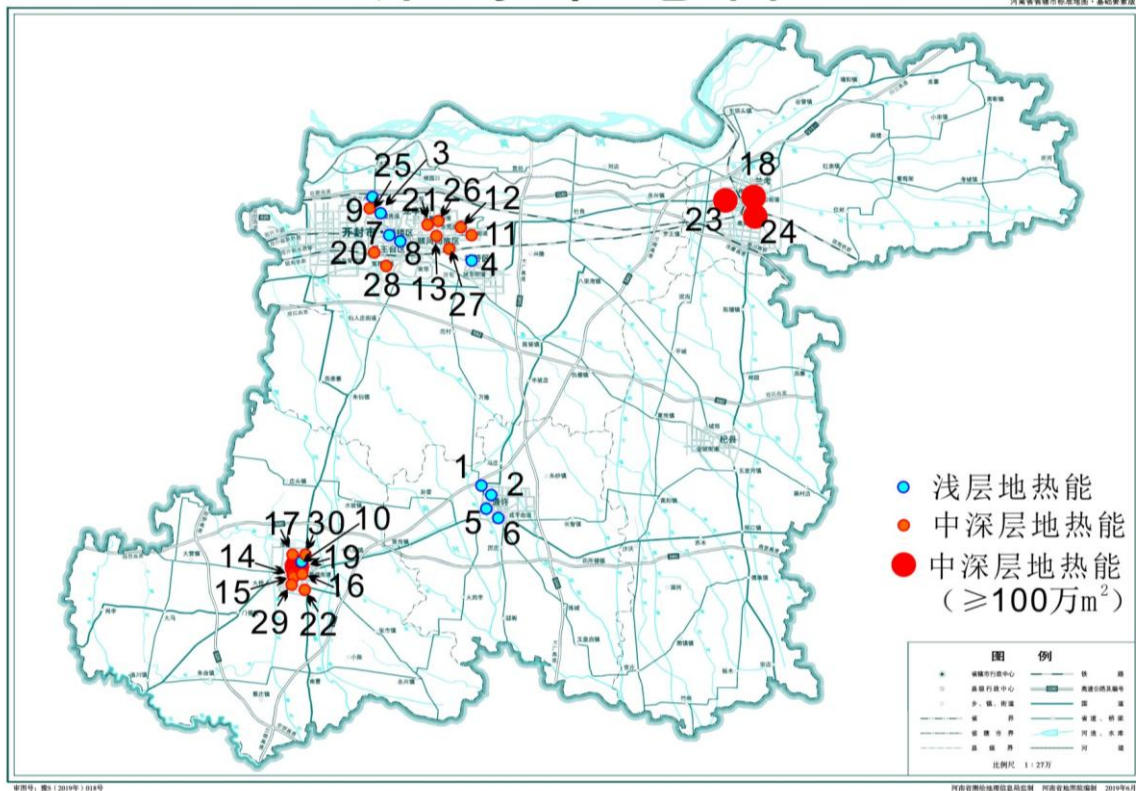


图 1 开封市地热供暖项目开发现状示意图

1.2 区域地热资源概况

1.2.1 地热能简介

地热能是赋存于地球内部岩土体和流体，能够为人类开发和利用的热能，是一种可再生清洁能源。地热能，储量大、分布广。具有绿色环保、用途广泛、稳定性好、可循环利用等特点，与水能、风能、太阳能等相比，不受季节、气候、昼夜变化等外界因素干扰，是一种比较稳定并具有竞争力的新能源。

中国是地热资源相对丰富的国家，地热资源总量约占全球的 7.9%。根据《中国地热发展报告白皮书（2018）》，中国大陆水热型地热能年可采资源量折合 18.65 亿吨标准煤（回灌情景下），占我国 2019 年煤炭开采总量的 48.4%（武强）。河南省新生界水热型地热能储量根据不同计算方法年可采量在 245.4~19992.26 万吨标煤，以低温热储为主（水温<90℃）。据 2019 年统计数据，我国年消耗资源量约 55 亿吨标煤，其中 18%用在建筑物制冷和供暖上。利用低温型地热能热泵技术为建筑物供暖制冷，对助力我国 2030 年碳达峰（可再生能源消费占比 20%）和 2060 年碳中和、提高人民生活福祉具有重要意义。

目前可利用的地热能形式主要有：

- (1) 通过热泵技术开采利用的浅层地热能；
- (2) 通过天然通道或人工钻井直接开采利用的中深层水热型地热能，地下岩体热能；
- (3) 赋存于干热岩体的干热岩型地热能。

地热供暖是地热能最重要的利用形式之一，按技术类型可分为三大类：直接供热、水源热泵、地源热泵。

直接供热即浅层或中深层地热水与用户侧热水直接进行热交换，用户侧热水吸收热量后再进行供热，如图 2 所示。

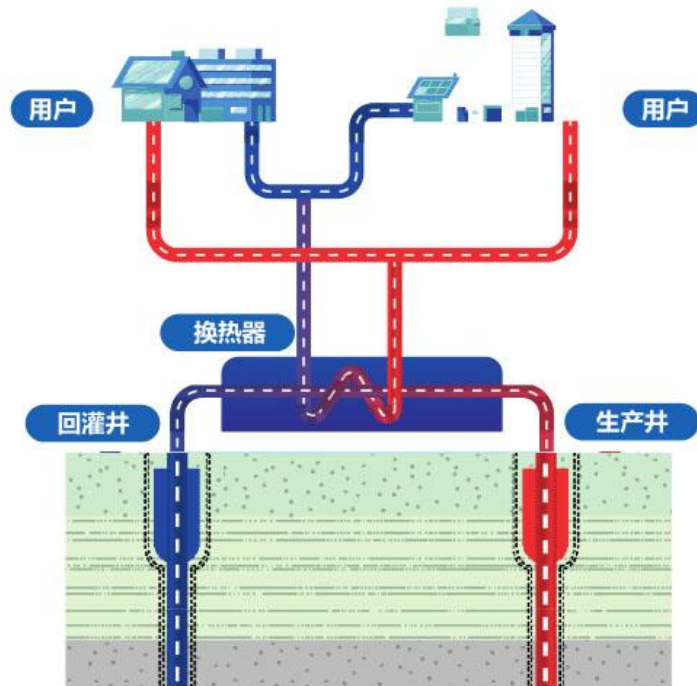


图 2 地热能直接供热（利用浅层或中深层地热能）

水源热泵是利用浅层地热水源，采用热泵原理，通过少量的高位电能输入，实现低位热能向高位热能转移的一种技术，如图 3 所示。

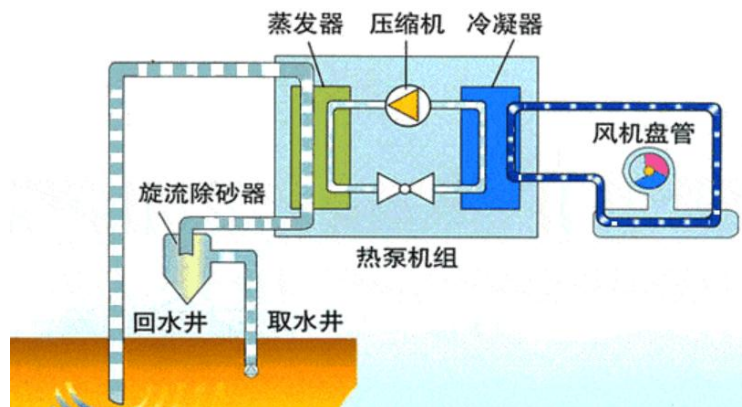


图 3 水源热泵系统（浅层地热能供热）

地源热泵指使用大地作为热源进行供热，循环水在地下吸热后，再经过热泵提升，最后为用户供暖，如图 4 所示。



图 4 地源热泵系统（浅层地热能供热）

通过合适的防腐防垢措施，加强运营维护，选用质量合格的设备，地热供暖设备寿命可达到 20 年以上。结合专业的勘察设计、成井工艺、运维方案、实时监控、及时保养，地热井的使用年限一般为 30-50 年。

伴随绿色奥运、节能减排和应对气候变化行动，浅层地热能利用进入快速发展阶段，2010 年以来以年均 **28%** 的速度递增。截止到 2019 年底，浅层地热能供暖（制冷）面积累计达到约 8.41 亿 m^2 ，主要分布在北京、天津、河北、辽宁、山东、湖北、江苏、上海等省市的城区，其中京津冀开发利用规模最大。

近 10 年来，我国中深层水热型地热能直接利用以年均 **10%** 的速度增长，已连续多年位居世界首位。水热型地热能直接利用以供热为主，其次为康养、种养殖等。1990 年全国水热型地热能供暖建筑面积仅为 190 万 m^2 ，2000 年增至 1100 万 m^2 ，截至 2019 年，我国北方地区中深层水热型地热供暖面积累计达到约 2.82 亿 m^2 。

1.2.2 开封市地热资源

开封市地处华北地层区华北平原分区，新生代以来整体处于缓慢的沉降运动中，沉积了巨厚的新生代碎屑岩，古近系、新近系、第四系均见发育，黄河从规划区北部自西向东流过。以断层为界，规划区内部可分为开封凹陷和通许凸起两个次级构造单元：北部的开封凹陷新生界底板埋深约 2000~5000m，南部通许凸起新生界则厚约 900~1500m。这些尚未完全成岩的高孔隙率地层为地下水提供了良好的富集场所。

开封市浅层地热能主要赋存于第四系全新统、上更新统、中更新统冲积成因的砂层和粘性土中，为本区最新的沉积盖层，全域均有分布，大致厚度范围在 200~400m 之间，恒温带深度 20 米，温度 16.4℃。开封市全域适合浅层土源热泵开采。鉴于开封市浅层地下水资源宝贵，且回灌困难，浅层地热开采形式推荐以地源热泵为主。现有热泵技术和建筑物供暖制冷要求下，估算规划区全域可利用浅层地热能资源总量 3.93845×10^9 GJ/年，折合功率为 1.25×10^6 MW。鉴于浅层地热能开发具有就地开发特点，考虑 5% 的面积适合土源热泵开发，估算规划区浅层地热实际可采资源量为 196.92×10^{12} kJ/a，折合标煤 671.46×10^4 t/a。开封主城区按照 10% 浅层地热能利用率，预计浅层地热能可开发总量为 34.35×10^{12} kJ/a，折合功率 1656MW，可供暖面积约 3500 万 m²。

规划区中深层地热资源为低温热传导水热型，平均地温梯度 3.27~3.81℃/100m，开采对象主要为富集在新生代巨厚的、尚未完全固结成岩的高孔隙度碎屑岩内的孔隙型地下水，热储厚度大，分布均匀，资源丰富、开采难度较小，适宜集中规划开采。

由于新近系明化镇组热储层地热水水质普遍较好，可作为开封市**战略水资源**储备层，本次规划资源评价时只对新近系**馆陶组**热储层进行地热资源分区评价。馆陶组顶板埋深 650~1700m，厚度 600~1000m，岩性下部为灰岩、泥灰岩、钙质砂岩，中上部为细砂和含砾砂为主，孔隙率 25~30%，水质为 Cl-Na 型高矿化度水，资源丰富。根据计算，新近系馆陶组热储储存热水资源总量为 3905.30×10^8 m³，地热流体储存热能量为 178.00×10^{18} J。按热储法估算规划区新近系馆陶组可开采热水资源总量为 19.5×10^8 m³/a，或 534.2×10^4 m³/d，估算可供暖面积 19 亿 m²；采用最优井距估算 100%回灌条件下规划区全区地热水可开采量为 1203.1×10^4 m³/d，估算可供暖面积 43 亿 m²，是热储法估算结果的 2.2 倍。开封主城区按照最优井间距估算可钻井数约 1055 口（禁采区已扣除，部分位于毗邻空旷区），开发程度为 60%时，可供暖面积约 2000 万 m²。为保证地热开发的可持续性和环保要求，须采取以灌定采政策保证 100%回灌。

1.2.3 勘查和开发现状

一、勘查程度

开封市地热资源勘查程度较高。统计历年来开展的相关地热地质调查及取得的地热地质资料如下：

- (1) 《河南省地热资源调查研究报告》，省地质局水文地质管理处，1981年；

(2) 《开封市区地下热流系统及开发工程配置研究》，开封市节水办、长春大学，1999年；

(3) 《开封市地热在供暖中的应用》，开封市节水办、长春大学，1999年，

(4) 《河南省地热资源调查与开发利用保护区划》，河南省地质环境监测院，2007年；

(5) 《河南省重点城市浅层地热能评价与开发利用研究》，河南省地质调查院、中国地质大学（北京），2009年；

(5) 《河南省地热资源现状调查评价与区划》，河南省地质调查院，2015年；

(6) 《中原城市群核心城市浅层地温能调查研究报告》；河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院，2017年。

另外尚有用水单位开展的资源勘查和试井报告。上述这些资料为本次规划的编写奠定了基础。

二、开发现状

1) 浅层地热能开发利用现状

开封市城区浅层地热能利用始于1995年西区矿泉城（建筑面积4000m²）地温空调系统的应用。后来应用领域不断扩大，包括洗浴、机关办公楼、写字楼和宾馆饭店等。目前城区范围内浅层地热能开发利用工程数量不断增多。据不完全调查统计，服务面积在1000m²以上的有122家，供暖面积约为725500m²。现有浅层地热能开发利用工程换热方式均为水源热泵，即利用浅层地下水作为浅层地热能载体，取水深度平均30~100m左右，抽回比为1:3~1:5，井管为水泥管，井径300mm，井间距6~10m。冬天供热时段为11月中旬至来年3月中旬，室内温度可达到18~22℃，地下水温度15~16℃，回灌水温度为9~12℃；夏天制冷时段为7月至9月，室内温度可达到18~24℃，地下水温度15~16℃，回灌水温度为22~24℃；目前效益较为突出的浅层地热能利用工程有西区矿泉城、节水办办公楼和黄河生态园等。

浅层地热能开发利用存在问题：

(1) 浅层地热能调查仅在开封市区开展工作，其它县区浅层地热能调查工作尚未开展，有关浅层地热能埋藏、分布特征及岩土热物性参数分布和变化规律尚属未知。

(2) 浅层地热能的利用主要为有关企事业单位在探索、试验中进行，浅层地热能资源开发存在无序状态，同时增加了开采风险。

(3) 目前，城区现有浅层地热能开采利用方式以水源热泵为主，在诸如回灌技术、采灌井配置、井间距、成井深度及工艺、合理采灌水量等方面缺乏科学论证，抽出的地下水不能就地回灌，弃水现象严重，造成水资源的严重浪费；此外回扬不及时导致回灌井淤塞现象较为普遍，严重影响了设备寿命和系统投资效益。

2) 中深层地热能开发利用现状

目前，开封市中深层地热资源开发利用深度为 600~2300m，地热开采主要热储层位为新近系明化镇组和馆陶组，古近系热储层开采较少，地热资源属中、低温地热资源，最高水温 82℃，地热资源利用模式为直接利用，用途主要为生活用水和洗浴为主，只有极少部分地热井为冬季供暖使用。新近系明化镇组开采深度一般 500~1200m，地热水温度一般 32~58℃，地热水利用方式主要是家庭生活用水和洗浴，尾水直接从下水道排放；新近系馆陶组开采深度一般 1040~2300m，地热水温度一般 51~82℃，地热水利用方式主要是家庭生活用水和洗浴，极少数用于冬季供暖，尾水大多数直接从下水道排放，冬季供暖的地热井进行了地热尾水回灌。

根据开封市馆陶组热储岩性、物性等相关参数，建立新近系馆陶组地热地质概念模型，利用概念模型模拟地热井压力场的变化和不同地热井之间的相互影响。模拟结果显示地热井采水井井距在 300m 时，地热井之间的压力场有所重叠，存在相互干扰的现象，地热井井距 400m 时，地热井之间压力场基本无干扰，地热井井距 500m 时，采水井之间的压力场完全无干扰。根据数值模拟结果，保守设计地热井采水井井距 500m。

总体而言，开封市地热水开采量已达到可观的数量，就开发利用而言，主要是福利性开发，以洗浴和生活用水为主要用途。商业性开发已经起步，尚处于低水平的初级阶段，主要是小-中等规模的地热康乐业、洗浴业、种植业、养殖业、矿泉水业。总之，地热资源开发应用水平与先进省（市）相比，还有很大差距，也远未取得应有社会、环境和经济效益。

2 规划基础和发展形势

2.1 规划区区域地质背景

规划区位于河南省东北部。区域上，河南省正处于第二级地貌台阶向第三级地貌台阶过渡的地带，西部的崤山、熊耳山、嵩箕山、外方山、伏牛山等及北部的太行山等山地，属于全国第二级地貌台阶，东部平原和西南部的南阳盆地，属于全国第三级地貌台阶，而南部的桐柏-大别山构成第三级地貌台阶中的横向突起。

规划区大地构造位置位于中朝准地台华北拗陷内（图 5）。北侧开封凹陷，南侧通许凸起是中朝准地台的二级构造单元，北接内黄凸起、东明断裂、汤阴断陷，南邻周口拗陷。新生代以来，规划区地壳一直处于缓慢的沉降运动中，受古地理、古气候影响，北部位于开封凹陷区，沉积了巨厚的新生代地层，新生界底板埋深 2000~5000m，有丰富的地热能资源，新生代以来，本区自下而上沉积了古近系、新近系、第四系；南部位于通许凸起被新生界（厚约 900~1500m）所覆盖，基底主要为古生界寒武-奥陶系碳酸盐岩及石炭-三叠系碎屑岩。地层除缺失古生界志留系、泥盆系外，其余地层发育较齐全。

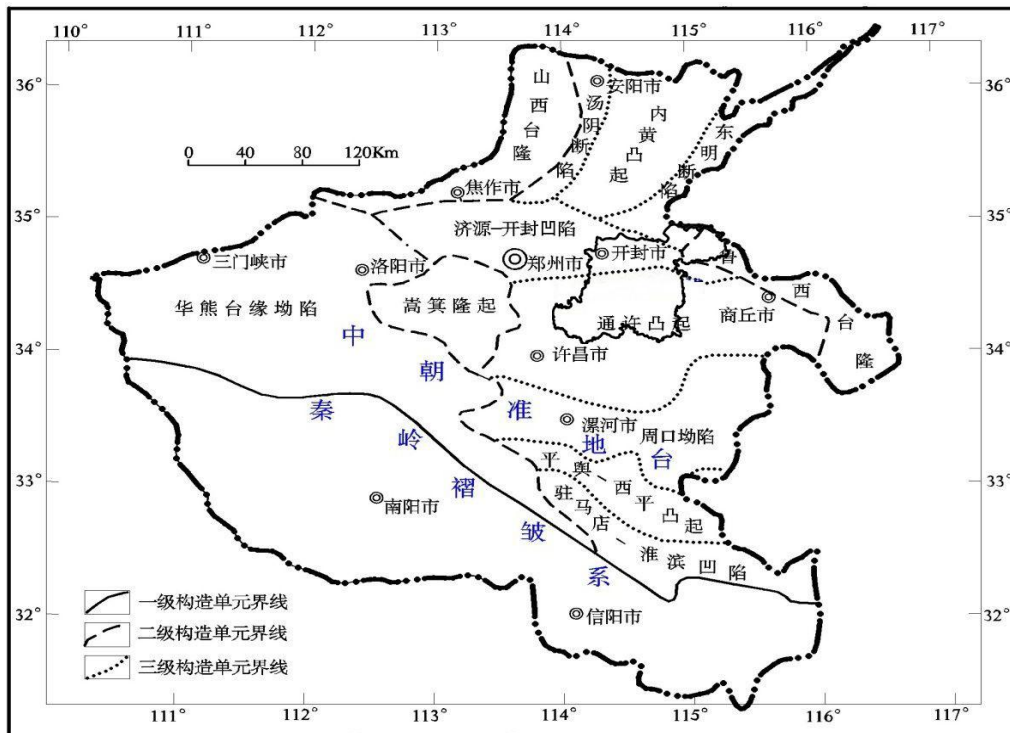


图 5 河南省构造单元略图

2.2 规划区地热地质条件

开封市地热为典型的沉降盆地型地热田，开封市地处黄淮冲积平原，凹陷盆地沉积区，新生界覆盖层厚 2000~5000m。浅层地热主要赋存于系第四系全新统、上更新统、中更新统冲积成因的砂层和粘性土中，为本区最新的沉积盖层，全域均有分布，为松散岩类孔隙型含水系统，资源量丰富，富水性较好。开封市中深层地热分为三大类：孔隙型层状热储、岩溶型层状热储和上部孔隙下部岩溶复合型层状热储三种组合类型，主要赋存于新近系明化镇组、馆陶组、古近系以及寒武-奥陶地层中，目前开采的主力层位为明化镇组及馆陶组，未来开采潜力层位为古近系及寒武-奥陶系热储，图 6 为开封市热储层分布情况。

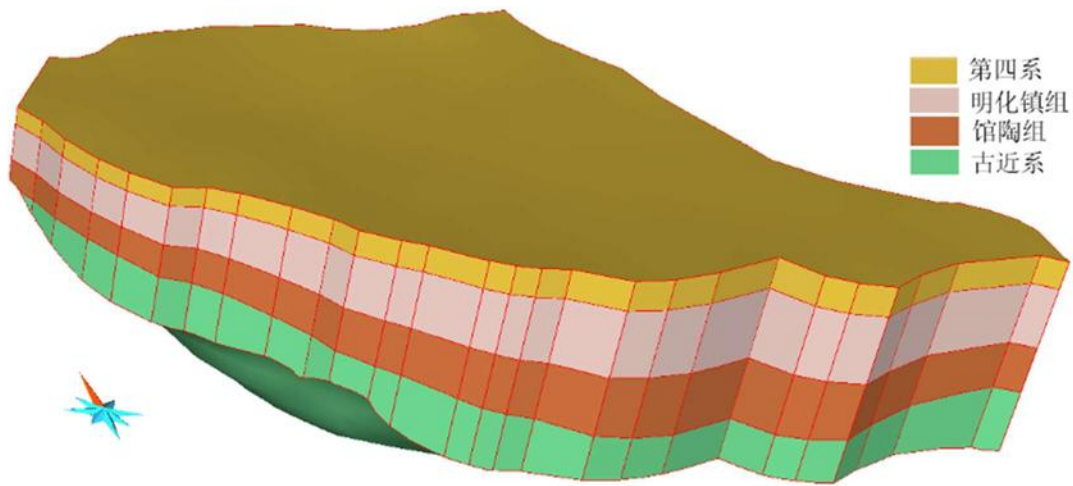


图 6 开封市主要热储层分布三维概念模型

2.2.1 地形地貌

开封市市中心北距黄河十多公里，地处豫东平原，黄河下游大冲积扇南翼，地表为第四系全新统冲积物，质地疏松。开封境内无山，地形西北高东南低，坡降 1 / 2000~1 / 4000，黄河大堤以北河漫滩滩区地势偏高，最高海拔 90m。黄河大堤以南，地面高程 70~78m 之间。区域地貌处于黄河冲积平原冲积扇的轴部，现状地貌主要是黄河历次泛滥改道所留下的遗迹。

2.2.2 地层岩性

开封市地层自下而上沉积了古近系、新近系、第四系。基底地层有前新生界寒武系、奥陶系、二叠系、侏罗系-白垩系组成，与上覆新生界地层成不整合接触（表 2）。

表 2 开封次凹陷内新生界地层

地层时代		层底深度(m)	单层厚度(m)	岩性描述	
第四系 Q		309	309	上部为黄河冲积相灰黄、灰褐色亚砂土、亚粘土夹细-中砂层；中部为冲-湖积相灰黄、灰黑、灰红色亚砂土、亚粘土夹粉-细砂；下部为冲湖积相灰绿、棕黄、棕红色粘土、亚粘土夹粉-细中砂	
新近系 N	明化镇组 N _m	上段	1281	972	浅灰浅棕红色厚层细砂、中砂与棕红色粘土、砂质粘土互层，夹棕红色泥质粉砂、浅灰色粉砂
		中段	1593	312	上部和中部为棕红色粘土、泥质粉砂夹浅灰色厚层中-细砂及薄层粉砂，下部为浅灰、灰白色厚层粉砂、细砂、中砂与棕红色粘土、粉砂质粘土互层
		下段	1737	144	棕红色粘土、砂质粘土夹浅棕色粉砂、细砂，顶部为厚层中-粗砂含砾石，下部为浅灰色厚层砂夹粘土
	馆陶组 N _g	上段	1847	110	浅棕红色粉砂、细砂、中砂与暗棕红色粘土互层
		中段	2044	197	浅灰色粉砂、含砾中砂与棕红、暗棕红色粘土互层
		下段	2293	249	上部为浅棕红色薄层粉砂、细砂、中砂与暗红色粘土互层，下部为暗棕红色粘土、泥质粉砂夹细砂，底部为浅灰、浅棕色细-中粒含砾夹薄层粘土
古近系 E	沙河街组 Es 及东营组 Ed	2884	591	上部渐新统东营组棕红色粘土、粉砂质粘土与棕色粉砂、细砂互层，局部夹薄层石膏、芒硝。 下部始新统沙河街组褐色、深灰色粘土、粉砂质粘土与浅棕色、浅灰色粉砂、细砂互层，局部夹石膏	
	孔店组（未揭穿）	3212	328	紫红、暗红色粘土、砂质粘土与灰、绿灰、肉红色泥质粉砂、细砂、含砾粉砂呈韵律式互层	

2.2.3 地质构造

(1) 褶皱构造

济源—开封凹陷沿黄河呈东西向展布，分布于济源-开封-民权一带。开封市及其所辖祥符区、兰考县城以西地区地处济源—开封凹陷的开封次凹陷内，兰考县城以东大部分位于东濮断陷和菏泽凸起内，尉氏县、通许县、杞县地处通许凸起。

(2) 断裂构造

开封市主要受近东西向构造和近北东南西向构造影响（图 7），主要构造有北侧的焦作—商丘深大断裂的控制，南部的郑州—民权断裂、中牟—埴阳断裂等。上述断裂控制了开封地区基底构造形态，成为划分中深层地热单元的边界。

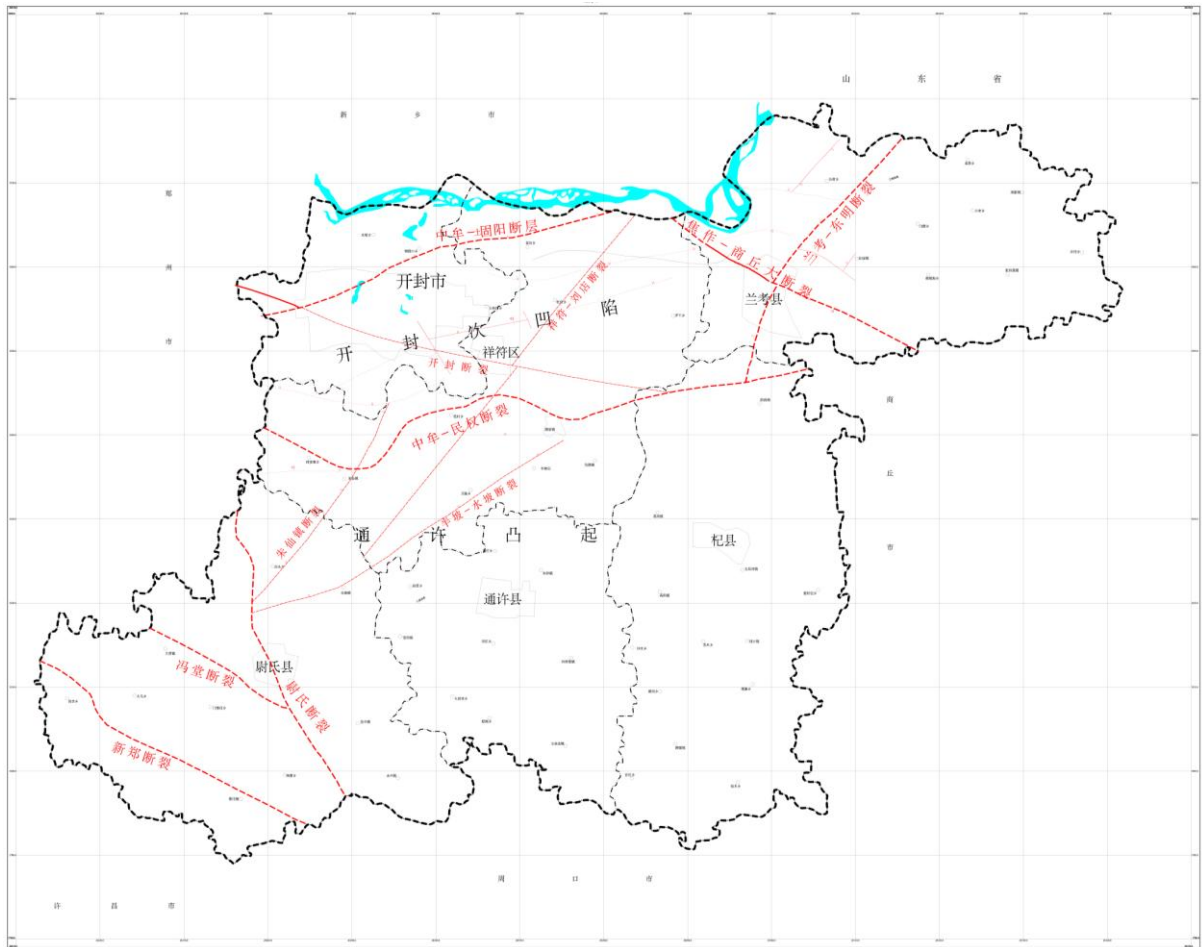


图 7 开封市构造纲要图

2.2.4 水文地质条件

开封境内河流众多，分属黄河和淮河两大水系。黄河大堤以北滩区为黄河水系，流域面积 263.8 平方公里；黄河大堤以南属淮河水系，主要河道有惠济河、马家河、黄汴河、贾鲁河、涡河等，流域面积 5913 平方公里。

开封市广泛分布新生代新近纪和第四纪松散堆积物，巨厚的砂或粉砂层为地下水的富集提供了良好条件。浅层水地层为第四系全新统河湖相沉积，黄河冲积而成，一般厚度 20~40m，沉积物颗粒上细下粗，水平与交错层理。开封市 200m 以浅地下水富水性图见图 8 和图 9。

区内地下水补给主要来自大气降水、灌溉回渗和周边侧向渗流补给。据河南省地矿厅环境水文地质总站在中牟县万滩观测试验资料，天然条件下来自黄河的侧渗补给的单宽流量为 $38\text{m}^3/\text{km}\cdot\text{d}\cdot\text{m}$ （枯水年）— $73\text{m}^3/\text{km}\cdot\text{d}\cdot\text{m}$ （丰水年）。

开封市浅层地下水的排泄途径主要有人工开采、越流补给中深层含水层和潜水蒸发等，其中以人工开采为主，占总排泄量的 96%。

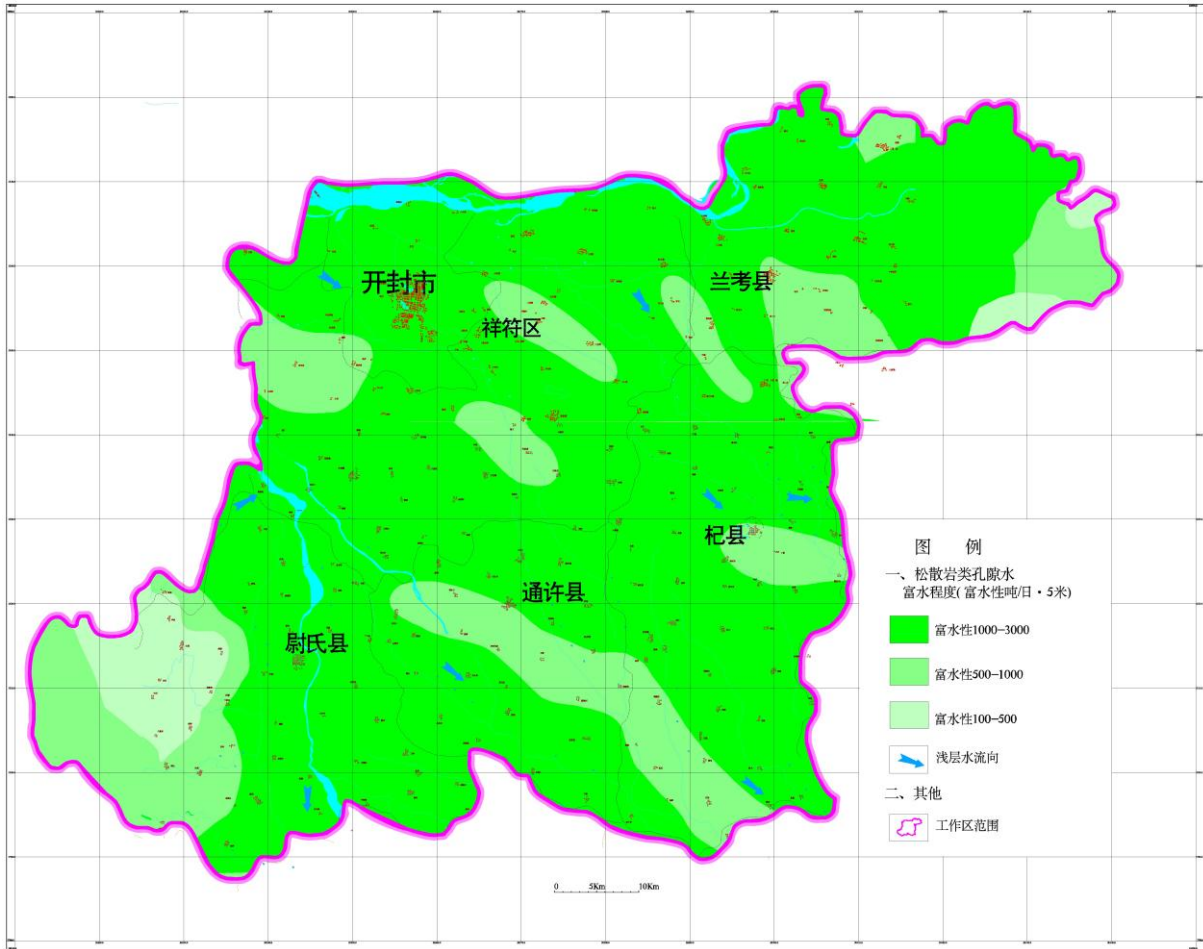


图 8 开封市浅层 (30~70m 埋深) 地下水富水性图

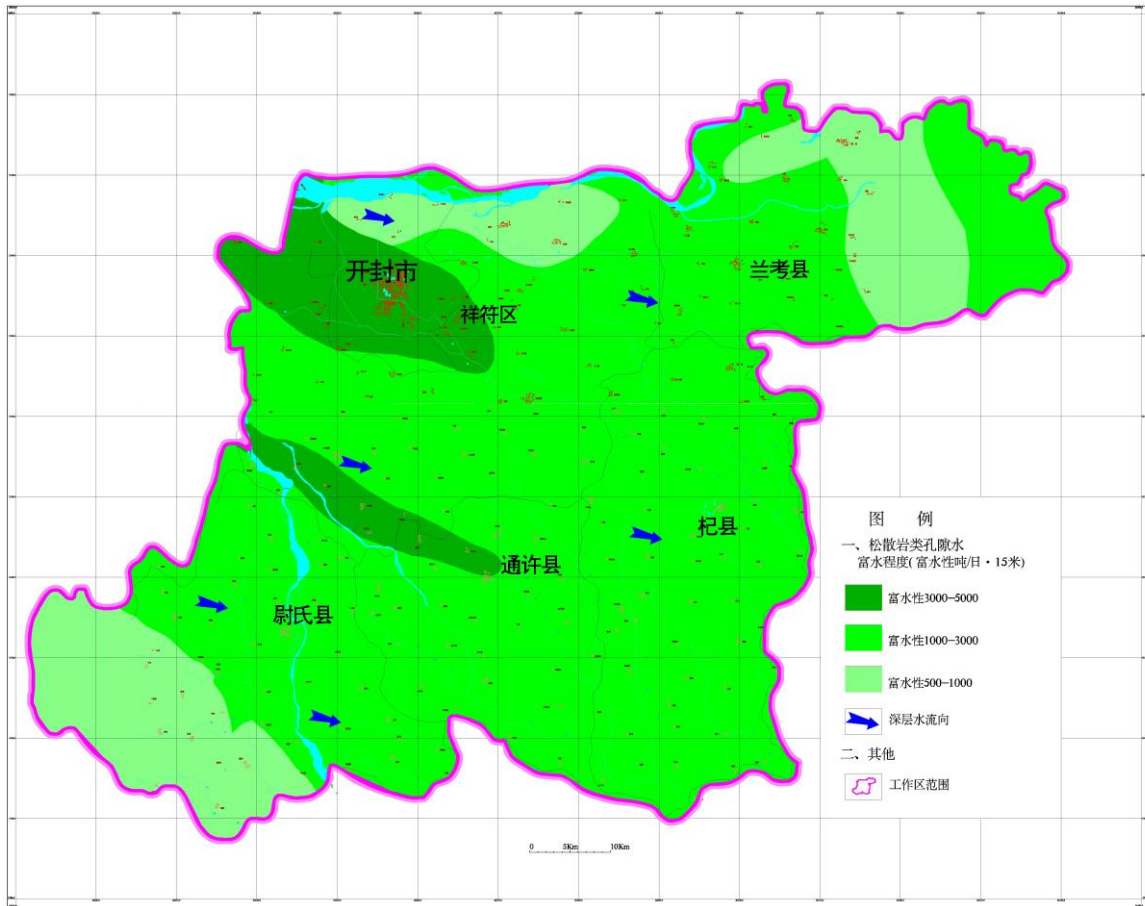


图 9 开封市中深层 (70~170m) 地下水富水性图

2.2.5 地温场特征

地温场是地球内部热能通过导热率不同的岩石在地壳上的表现，其主要表现形式为地温梯度和大地热流的空间分布特征。规划区各行政单元地温梯度实测数据见表 3。

表 3 规划区周边构造单元地温梯度数据统计表

井位		井数 (眼)	孔深/取水段平 均深度(m)	温度范围 (°C)	地温梯度 (°C/100m)	
地市	位置				范围	平均值
开封	开封市	32	600~2120	32~82	3.20~3.90	3.48
	开参 2	1	3030	113	3.14	3.14
兰考	县城	32	650~2270	38~113	2.63~3.47	2.98
通许	县城	26	380.0~1275.9	26~58	2.88~3.90	3.56
尉氏	县城	29	480~1320	28~53	2.46~3.29	2.85
杞县	城区	2	387.8~546.2	28~33	3.25~3.29	3.27

根据河南省地调局资料，开封市新生界地温梯度一般变化范围 2.46~3.90°C/100m。

开封市区的地温梯度范围为 3.20~3.90°C/100m, 平均 3.50°C/100m, 大于 3.50°C/100m 的范围主要集中在城区至范村乡一带; 开封市区东部、东南部地温梯度偏低, 在 3.20~3.50°C/100m 之间, 平均 3.35°C/100m, 开封市城区区域, 地温梯度较高, 最高可达 3.9°C/100m, 祥符区地温梯度值一般 3.50~3.70°C/100m。兰考县新生界地温梯度一般变化范围 2.63~3.47°C/100m, 平均 2.98°C/100m; 通许县新生界地温梯度一般变化范围 2.88~3.90°C/100m, 平均 3.56°C/100m, 不同区域存在一定差异, 总体具有南部小、中东部大的分布特征。邸阁西南及冯庄以北区域, 地温梯度小于 3.4°C/100m, 其余地区均大于 3.4°C/100m。长智镇三所楼一带地温梯度最高, 可达 3.9°C/100m, 长智一四所楼一练成后闫台一带及大岗李附近地温梯度值大于 3.8°C/100m, 通许县城地温梯度值为 3.6°C/100m。尉氏县新生界地温梯度一般变化范围 2.46~3.29°C/100m, 平均 2.85°C/100m。350~500m 深度范围, 地温梯度值一般多在 2.61~2.87°C/100m 之间; 910~1200m 深度范围, 地温梯度一般为 2.46~3.26 之间。地温梯度值随深度加深而略变低的规律, 主要是由于埋深的增大, 在上覆地层的重力作用下, 下部地层逐渐压密, 孔隙、裂隙率变低, 热渗透率变强, 热传递变好。

开封凹陷的大地热流值分布范围为 54.2~79.3mw/m², 平均为 58.4mw/m², 低于华北平原北部的 62mw/m²; 通许凸起大地热流值分布范围为 53.2~71.2mw/m², 平均 61.8mw/m², 高于北部开封凹陷。

开封市城区约为 57.78mw/m², 通许地区大地热流平均值为 63.11mw/m², 高热流值分布在长智三所楼及大岗李附近, 与地温梯度分布规律一致; 兰考县城附近约 60.53mw/m², 整体来看开封市大地热流值呈南高北低、西高东低特征。

2.2.6 地热田成因类型

开封市地热类型主要为沉积盆地传导型。地球内部的热经传导至中元古界下部; 中元古界至新生界古近系经历了多次构造运动, 其间断裂、裂隙发育, 来自开封市外西部山区并赋存于灰岩中的地下水经加热增温, 沿着断裂和裂隙上升至古近系顶部, 此时对流起主导作用; 古近系顶部的热水受弱透水层的阻碍而又以传导的形式对新近系及以上地层施加影响。

盆地埋藏型地热田主要依靠存储沉积物在固结成岩过程释放的热能和岩层自身传导热能供热, 地热增温梯度受地层岩性、围岩压力、物质组成影响, 同一沉积单元变化不大, 具有分布稳定、厚度大、热储温度随深度增加而升高的特点。据开封市区已开发

地热井资料统计，井深 600~2200m，井口水温 26℃~82℃，地热增温率为 2.46℃~3.90℃/100m。构成了典型的覆盖型层控低温地热田。

2.3 浅层地热能

2.3.1 地热地质条件

2.3.1.1 储层特征

开封市浅层地热储层为第四系，主要为古河流和黄河历次泛滥改道沉积物，以粉砂、粉质黏土夹中砂层为主，厚度普遍大于 200m，开封市第四系厚度等值线图见图 10。

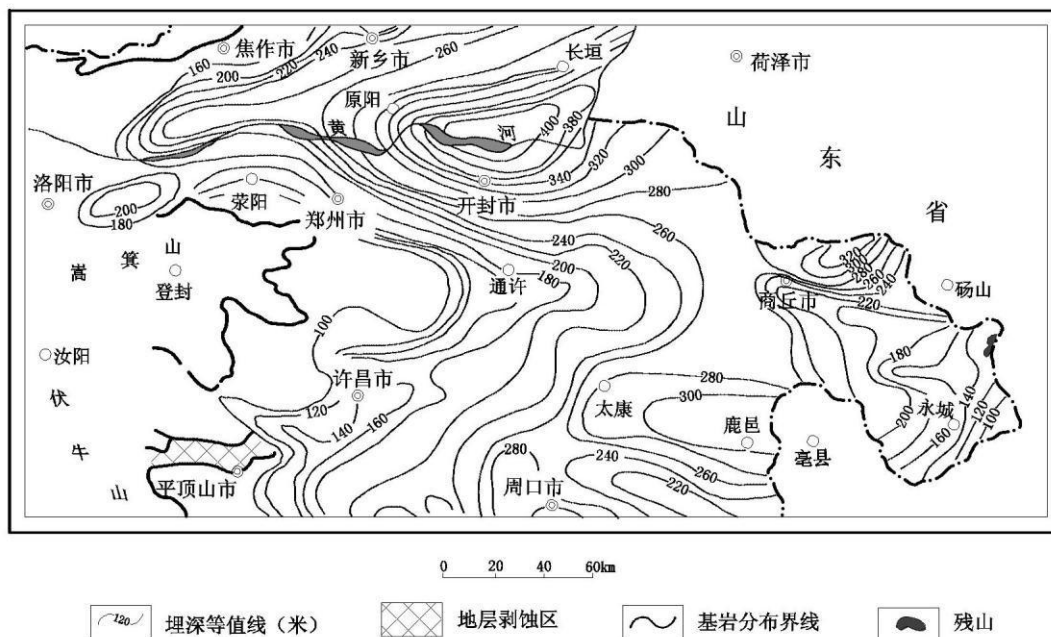


图 10 开封市第四系厚度等值线图

2.3.1.2 恒温带及地温梯度

(1) 恒温带

《开封市城区浅层地热能调查评价》研究指出开封市表层 20m 深度内温度差异较大，20m 以下温度基本成缓慢增长趋势。评价区深度范围内的温度主要分布在 16~19℃ 之间，各钻孔 20m 深度处温度平均值为 16.75℃。

《开封市区地下热流系统及开发工程配置》研究报告根据开封市城区 24 眼浅井的测温数据确定恒温带深度 20m，恒温 15.9℃。综合以往该区域测温资料和此次连续测温结果中具代表性的井点测试资料，最终确定恒温带深度为 20m，温度为 16.4℃。

(2) 浅层地热能地温梯度

地温梯度的计算采用井深与水温的关系来确定，开封市地温梯度的分布受构造差异

影响，地温梯度值在 2.6~3.8℃范围。城区东西部高地温梯度区分布方向具明显差异。

2.3.1.3 岩土体物性参数

热物性测试主要是为了解 200m 以浅深度范围内不同深度、不同岩性地层的物理及热物理参数，为资源评价提供数据。在埋管地源热泵系统工程设计时，最为重要的是埋管换热系统的换热能力，其主要反映在垂直埋管埋藏深度范围内的综合岩土导热系数和综合比热容两个参数上，埋管换热系统的换热能力是一个反映了岩土、地下水流等因素影响的综合值。由于地质结构的复杂性和差异性，必须通过现场换热试验得到岩土综合导热系数和综合比热容等岩土热物性参数，供埋管设计计算使用。

根据《开封市城区浅层地热能调查评价》报告，试验研究对 366 组岩土试验样进行热物性试验，最终获得开封市浅层岩土样粉土、粉质粘土及粘土的热物性参数，根据试验结果取平均值，见表 4。

表 4 粉土、粉质粘土及粘土热物性参数统计值表

岩土类别 热物性参数	含水率 (%)	密度	比重 Gs	孔隙比 (e0)	饱和度 pd (%)	导热系数 λ (W/(m*K))	比热容 C (kJ/ (kg*K))	热扩散率(导热 系数) α[10 ⁻³ (m ² /h)]
粉土	19.21	2.05	2.70	0.57	91.00	1.82	1.54	2.09
粉质粘土	22.47	2.01	2.73	0.66	92.22	1.72	1.67	1.85
粘土	19.65	2.07	2.75	0.60	91.94	1.78	1.51	2.02

2.3.1.4 水文地质特征

浅层地热能一般蕴藏在地表以下 200m 深度范围内。该层主要分布在第四系，以黄河测渗和大气降水下渗为主，地下水矿化度大部分 < 1.0g/L，水化学类型以 HCO₃-Na·Ca·Mg、HCO₃·Cl-Na·Mg、HCO₃·SO₄-Na·Ca·Mg 型为主，可作为城区重要供水水源。

2.3.2 适宜性分区评价

浅层地热能存在于地表下一定深度范围内，其赋存特征、开采利用条件及经济技术合理性均受到浅层地质环境条件的制约。浅层地热能的开采利用方式分为水源热泵开采方式和土壤源热泵开采方式两类。浅层地热能资源的产生、形成和开发利用受到地层结构，岩性，岩土层的热物性，岩土体温度，地下水埋深，地下水径流条件，地下水水质等因素的制约和影响，直接决定了不同换热方式的适用性。因此，针对不同换热方式对

相关地质环境因素进行区划，不仅有利于对浅层地热能开发利用的规划管理，同时也是浅层地热能计算评价前提和依据。

2.3.2.1 适宜性分区原则

(1) 地质条件：以岩土体的结构，物质组成及热导率等物理性质为主要控制因素的地质条件特征很大程度上制约着形成浅层地温能的物质基础，因此，地质条件构成了浅层地温能赋存的基础条件。

(2) 水文地质条件：地下含水层分布情况，岩土体含水率，地下水水动力地质条件及地下水径流特点为浅层地温能的流动和热交换提供了直接环境条件，以水文地质条件为依托进而建立评价模型是分区工作必不可少的重要环节。

(3) 经济与技术的结合：结合区域地源热泵利用现状和当地经济社会发展水平，决定评价深度和土地利用程度。

2.3.2.2 评价方法

在对浅层地热能开采适宜性进行评价时采用层次分析法，层次分析法 AHP (The Analytic Hierarchy Process) 是一种能有效处理多目标决策系统的方法，是一种将定性和定量相结合的、系统的、层次化的分析方法。通过对复杂问题的本质，影响因素及内在关系进行深入分析的基础上，利用较少的定量信息对思维过程的决策数学化，从而为多目标，多准则及无结构特征的复杂决策问题提供简单的评价（决策）方法。

2.3.2.3 地下水换热方式适宜分区评价

(1) 评价指标的选取

地下水换热方式适宜性评价主要考虑地质、水文地质条件、水动力场、水化学场、地质环境等因素，其中，地质环境因素包括地面沉降、地裂缝及水源保护地保护区等，其主要指标根据《浅层地热能勘查评价规范》(DZ/T 0225-2009) 所提供如表 5 所示。

表 5 地下水换热方式适宜性分区评价表

分区	单项指标				综合评价标准
	单位涌水量 ($m^3(d \cdot m)$)	单位回灌量 单位涌水量	地下水位年 下降量 (m)	特殊地区	
适宜区	>500	>80%	<0.8		三项指标均符合
较适宜区	300-500	50%-80%	0.8-1.5		除适宜区和不适宜区以外的其它地区

不适宜区	<300	<50%	>1.5	重要水源保护区，地面沉降严重区	任一项指标符合
------	------	------	------	-----------------	---------

(2) 评价结果

结合开封市浅层地下水水文地质条件，开封市富水区单位涌水量 $10\sim 23\text{m}^3/\text{h m}$ ，根据地下水换热方式适宜区综合评价标准，不适宜区任何一项指标符合即为不适宜区的原则，开封市富水区单位用水量也没有达到标准，可以直接评价为开封市全区为不适宜区。

2.3.2.4 地埋管换热方式适宜性分区

(1) 评价指标的选取

地埋管换热方式适宜性评价要考虑区域岩土层的岩性、结构、地下水分布及渗流状况，岩土层的物理（含水率、密度、孔隙率）及热物理（比热容、导热系数）性质，以及地层的施工条件等因素，其主要评价指标依据《浅层地热能勘查评价规范》（DZ/T 0225-2009），见表 6。

表 6 地埋管换热适宜性分区评价表

分区	单项指标			综合评价标准
	第四系厚度(m)	卵石层总厚度(m)	含水层总厚度(m)	
适宜区	>100	<5	>30	三项指标均符合
较适宜区	<30 或 50-100	5-10	10-30	不符合适宜区和不适宜区分区条件
不适宜区	30-50	>10	<10	至少两项指标满足

(2) 评价结果

开封市第四系主要为古河流和黄河历次泛滥改道沉积物，底板埋深 $280\sim 400\text{m}$ ，岩性为粉质粘土、粘土及细砂、粉砂、中砂。浅层地下水遍布整个工作区，主要是全新统及上更新统上部含水层中的地下水，含水层顶板埋深 $10\sim 30\text{m}$ ，底板埋深 $40\sim 70\text{m}$ ，底板埋深由西南往东南逐渐增大，到底板埋深可达 74.9m 。根据上述地层及水文地质条件，开封市全区为地埋管换热适宜区。

2.3.3 资源评价

2.3.3.1 评价原则和方法

(1) 评价原则

①浅层地热能评价评价深度限定在 $0\sim 200$ 米深度；

- ②浅层地热能静态储量与可利用量评价相结合；
- ③换热功率评价仅限于浅层地热能相应开发利用方式的适宜区和较适宜区。

(2) 评价方法

- ①浅层地热能储量计算以勘查、测试成果为依据，采用分层、分区体积计算法；
- ②水源热泵适宜区、较适宜区换热功率采用水量折算法。地源热泵适宜区、较适宜区换热功率由现场换热试验结果确定。

2.3.3.2 浅层地热能容量评价

(1) 浅层地热能总量

浅层地热能资源量评价方法依据《浅层地热能勘查评价规范》(DZ/T 0225-2009)，采用体积法估算。首先分别计算包气带与饱水带单位温差储藏的热量，然后合并计算评价范围内的地质体的储热性能。

包气带存在粉土、细砂两种不同物理及热物理性质的岩土体类型，通过分别对二者的热容量进行计算，结合包气带岩土体赋存水的热容量及空气热容量值，最终进行叠加获得整个包气带浅层地热容量值。

饱水带存在粉土、粉质粘土及细砂三种不同物理及热物理性质的岩土体类型，通过分别对三者的热容量进行计算，结合饱水带岩土体赋存水的热容量，最终通过叠加获得整个饱水带浅层地热容量值。目前开封市所辖县区尚未进行过浅层地热能勘查评价，除了县区面积外所有参数均参考开封市城区数据，最终求得开封市浅层地热能总量及各县市资源量，见表 7。

表 7 开封市浅层地热能资源量表

名称	浅层地热能热容量值/(10 ¹² kJ/℃)			静态资源量 (kJ)	折合标准煤 (万吨)
	包气带	饱水带	合计	按 5℃ 计算	
开封市区	6.53	151.68	158.21	791.08	2134.79
祥符区	15.54	361.03	376.57	1882.98	5081.35
兰考县	13.32	309.45	322.78	1613.98	4355.45
尉氏县	15.48	359.64	375.13	1875.74	5061.84
通许县	9.15	212.40	221.55	1107.80	2989.49
杞县	14.84	344.67	359.51	1797.65	4851.09
合计	74.87	1738.86	1813.73	9069.23	24474.01

由表 7 计算统计结果，将包气带与饱水带的浅层地热能容量进行合并，可得到开封

市单位温差赋存浅层地热容量为 $1813.73 \times 10^{12} \text{kJ}/\text{C}$ ，其中开封市区赋存浅层地热容量为 $158.21 \times 10^{12} \text{kJ}/\text{C}$ ，祥符区赋存浅层地热容量为 $376.57 \times 10^{12} \text{kJ}/\text{C}$ ，兰考县赋存浅层地热容量为 $322.78 \times 10^{12} \text{kJ}/\text{C}$ ，尉氏县赋存浅层地热容量为 $375.13 \times 10^{12} \text{kJ}/\text{C}$ ，通许县赋存浅层地热容量为 $221.55 \times 10^{12} \text{kJ}/\text{C}$ ，杞县赋存浅层地热容量为 $359.51 \times 10^{12} \text{kJ}/\text{C}$ 。根据开封市气候特点，可利用温差确定为 5C ，则开封市适宜建设浅层地热能换热系统范围内浅层地热能静态资源量为 $9069.23 \times 10^{12} \text{kJ}$ ，折合标准煤为 $24474.01 \times 10^4 \text{t}$ 。

(2) 浅层地热能可利用资源量

参照《开封市城区浅层地热能调查评价报告》，开封市城区浅层地埋管换热方式适宜区和较适宜区换热功率为：夏季 $1.95 \times 10^7 \text{kW}$ 、冬季： $1.41 \times 10^7 \text{kW}$ 。按照制冷期和取暖期各 120d 计算，假定开封市全域与城区浅层地热能能量密度相同，则开封市全年夏季可利用浅层地热能资源量为： $2285.75 \times 10^{12} \text{kJ/a}$ ，冬季可利用浅层地热能资源量为： $1652.70 \times 10^{12} \text{kJ/a}$ 。全年合计 $3938.45 \times 10^{12} \text{kJ/a}$ ，可供暖/制冷面积约 45 亿 m^2 ，折合标准煤 $13429.6 \times 10^4 \text{t/a}$ （表 8）。

根据开封市规划报告，至 2020 年，开封市建设用地总面积约 1042km^2 ，约占全域总面积的 16.6%。鉴于浅层地热能开发具有就地开发特点，扣除不易开展浅层地热能建设的建成建筑密集区，则浅层地热实际可采资源量约为可利用资源量的 5%，即 $196.92 \times 10^{12} \text{kJ/a}$ ，预计可控暖面积 2.3 亿 m^2 ，折合标煤 $671.46 \times 10^4 \text{t/a}$ 。

中心城区建筑密度大，浅层地热利用率按 10% 计算，则可利用资源量为 $34.35 \times 10^{12} \text{kJ/a}$ ，折合功率 1656MW，可供暖面积约 3500 万 m^2 。

表 8 开封市浅层地热能可利用资源量表

名称	可利用资源量 (10^{12}kJ/a)				实际可采	
	夏季	冬季	全年合计	折合标准煤(10^4t/a)	资源量(10^{12}kJ/a)	折合标准煤(10^4t/a)
开封市城区	199.38	144.16	343.54	1171.42	48.10	164.00
祥符区	474.57	343.14	817.71	2788.29	33.85	115.43
兰考县	406.78	294.12	700.89	2389.96	29.02	98.94
尉氏县	472.75	341.82	814.57	2777.58	33.72	114.99
通许县	279.20	201.88	481.08	1640.42	19.91	67.91
杞县	453.07	327.59	780.66	2661.94	32.32	110.20
合计	2285.75	1652.70	3938.45	13429.62	196.92	671.46

(3) 浅层地热井评价

根据布设的两组现场换热试验成果, 开封地区地埋管单孔单位延米换热量 42W/m, 设计地埋管换热孔孔深 120m, 则单孔换热功率为 5.04 kW, 换热孔间距为 4.5×4.5m, 则每 100m² 土地可提供热功率为 24.9 kW, 可供暖面积约 553m², 其供热特征适用于楼层较低且同时需要制冷和供暖的建筑物, 如医院、学校、车站、别墅等。

根据上述原则, 按照中心城区 10% 开发程度, 预计浅层地热能可开发总量 5950 MW, 约是同等开发程度时体积法计算浅层资源量的 3.5 倍, 可供暖面积约 1.19 亿 m², 资源充足。本次规划按照较小值考虑, 开封中心城区浅层地热资源量为 34.35×10¹² kJ/a, 折合功率 1656MW, 可供暖面积约 3500 万 m²。

祥符区为半农业区, 浅层地热开采率可按照 5% 计算, 全年可采热量 40.89×10¹² kJ/a, 折合功率 1970 MW, 可供暖面积约 4165 万 m²。祥符中心城区范围按北至陇海铁路, 西接开封城区, 南至 S327 省道, 东达大北高速, 面积约 16.3 km², 考虑有 10% 面积可开发, 则浅层地热能可采热量约 37.8×10¹² kJ/a, 可供暖面积约 2400 万 m²。

2.4 中深层地热资源

2.4.1 地热地质条件

开封市地处华北地层区华北平原分区, 受古地理、古气候影响, 沉积了巨厚的新生代地层, 开封凹陷区内新生界底板埋深 2000~5000m, 通许凸起内新生界底板埋深一般 1000~1500m。新生代以来, 本区自下而上沉积了古近系、新近系、第四系。本次地热资源开发利用规划仅涉及新近系热储层, 所以只对新近系热储层特征做详细介绍。

2.4.1.1 热储层特征

开封市主要地处两个构造单元上, 分别是开封次凹陷和通许隆起。开封次凹陷内包含开封市市区、祥符区大部分区域、兰考县部分区域; 通许隆起包含尉氏县、通许县、杞县及祥符区一部分。开封市新近系上新统明化镇组、中新统馆陶组, 均可构成独立的热储层, 由于地处不同的构造单元, 其热储层埋深、水温、水质存在明显的不同。明化镇组上覆地层第四系, 由于埋藏浅, 温度相对较低, 将其划为热储盖层。结合构造区划及区域新生界埋藏及分布条件, 对开封次凹陷新近系明化镇组和馆陶组热储层又分别划分两个热储亚层, 即新近系明化镇热储层上段、新近系明化镇组热储层下段、新近系明化镇组热储层上段和新近系明化镇组热储层下段; 通许凸起范围内新近系明化镇组分为上、中、下三层, 馆陶组不做分层。

现对各分区范围内热储层划分自上而下分述如下：

(1) 开封次凹陷范围内热储层特征

新近系明化镇组热储层上段:顶板埋深在 180~320m, 底板埋深在 500~850m, 在开封市区东北部袁坊乡附近底板埋深达到 900~1000m, 总体呈南部埋深浅, 向北部逐渐增加的趋势。热储岩性以细砂、中砂、粉细砂为主, 累计厚度 41~199m, 单层厚度 3~24m, 单井出水量 40~60m³/h, 井口水温 29~44℃, 水位埋深为 72~103m。

新近系明化镇组热储层下段:顶板埋深 510~860m, 底板埋深在 750~1250m, 总体埋藏深度呈南部浅, 北部深。热储岩性以细砂、中砂、粉细砂为主, 累计厚度 67~248m, 单层厚度 1~20m, 单井出水量 30~80m³/h 左右, 井口水温 40~58℃, 水位埋深为 82~110m。

新近系馆陶组热储层上段:顶板埋深 770~1260m, 底板埋深在 1000~1640m, 凹陷区北部埋深大于南部。热储岩性以粉细砂为主, 少量中砂和砾砂, 累计厚度 88~179m, 单层厚度 1.5~42m, 单井出水量 50~83m³/h, 井口水温 51~67℃, 水位埋深为 95~111m。

新近系馆陶组热储层下段: 顶板埋深 1015~1660m, 底板埋深在 1200~2210m, 开封市区北部埋深大于南部, 靠近祥符区南部区域, 馆陶组下段热储层缺失。根据目前已知地热井钻孔在 1600~2000m 埋深范围内, 热储岩性为浅棕红、浅灰色粉砂岩、细砂岩为主, 累计厚度 60~157m, 单层厚度 1.8~18m, 单井出水量 50~155m³/h, 井口水温 62~82℃, 水位埋深为 64~102m。

目前, 新近系馆陶组热储层为开封市区和兰考县城地热供暖主要利用层位。

(2) 通许凸起范围内热储层特征

新近系明化镇组热储层: 顶板埋深 300m 左右, 底板埋深 650~980m 左右, 北、中部较深, 南部较浅。含水介质岩性主要为中砂、细砂, 上段有含砾砂, 中部粉砂层较多。热储有砂层 18~22 层, 单层厚一般 2~20m, 最厚可达 39m, 砂层总厚 165~390m, 热储层井口水温一般 24~50℃, 水位埋深上段为 56~76m。热储层富水性因区域含水层厚度不同差异较大, 尉氏区域热储层上段单井产量为 18~20m³/d m, 下段西北部孙营一带热水单井产量较小; 通许区域热储层上段单井产量为 80~115 m³/d m, 热储层下段单井产量 38~132 m³/d m。根据地热井及石油钻井资料, 300~980m 深度自上而下分为 300~520m、520~730m、730~980m 三个含水段。

①明化镇组上段：埋深 300~520m，热储层厚度 79~154m，含水介质岩性主要为中砂、中细砂及含砾砂，热储层井口水温一般 24~34℃。上段热储地热流体是目前城镇供水及农村安全饮水的主要开采层。

②明化镇组中段：埋深 520~730m，热储层厚度 38~131m，含水介质岩性主要为粉砂、中砂及细砂，热储层井口水温一般 32~40℃。

③明化镇组下段：埋深 730~980m，热储层厚度 59~185m，含水介质岩性主要为中砂、细砂，热储层井口水温一般 32~50℃。

新近系馆陶组热储层：除通许东南部外，其余地段均有分布。热储层顶板埋深 650~980m 左右，底板埋深 975~1300m，通许东北部最大埋深依物探资料推测为 1500 m，厚度 300~800m。主要含水介质岩性中细砂、含砾砂、粗砂。据《郑州航空港经济综合试验区（尉氏段）地热资源调查报告》中 WR-1 井揭露，热储有砂层 20 层，层厚 3.5~21.3m，砂层总厚 220.9m，占地层厚度的 50.2%。井口水温 44~53℃，单井产量 19.2~31m³/d m；据《河南省通许县地热资源普查报告》地热井揭露上部 284m 有砂层 7 层，单层厚 1.5~35m，累计总厚为 108.5m。水位埋深 15~22m，井口水温 49~63℃，温热水为主。热储层单井热水生产能力为 28~110m³/d m。目前此层主要用于洗浴和采暖。

2.4.1.2 热储层物性特征

整个开封市范围内沉积体系相当，岩性相似。开封东郊探采 1 井岩心薄片显示，其目的层岩性以长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩为主，多为孔隙型胶结，为近源沉积特征。

热储岩石和地热流体的比热、密度：比热和密度按照《地热资源地质勘查规范》(GB/T 1165-2010) 附录 C 推荐的经验数值取值。结合华北地区 12 口钻孔岩芯资料建立的新生界砂岩、泥岩孔隙度——深度统计曲线，同时根据本次物探测井及岩石热物性参数测试所得结果确定各参数取值，其岩层的比热为 1003 J/kg·℃，水的比热为 4180 J/kg·℃，岩层密度为 2600kg/m³，水的密度为 1000 kg/m³，含水层孔隙度为 23%。

电性特征：开封市第四系主要岩性为砂、粘土，电阻率一般为低阻，总体上表现为电性不均。开封次凹陷内第四系一般为电阻率 8~19Ω·m，新近系分为明化镇组和馆陶组，电阻率 4~13Ω·m；通许凸起第四系及新近系电阻率一般为 8~30Ω·m。明化镇组与第四系之间的电性界线并不清楚，很难单独划分出一层来，常以 Q-Ng 来代表第四系到馆陶组。

2.4.1.3 地热流体性质

(1) 地热流体化学特征

①明化镇组地热流体化学特征

新近系明化镇组热储地热流体的水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{ Cl-Na}$ 型为主，少数属于 $\text{HCO}_3\text{ SO}_4\text{ Cl-Na}$ 型。溶解性总固体 365.9~1896.71mg/L，属淡水-微淡水；总硬度 13.0~208.5mg/L；PH 值 7.44~8.30，为弱碱性水；氟化物含量 0.06~1.96mg/L，为低氟水-高氟水；阴离子以重碳酸及氯离子为主，阳离子以钠为主。 H_2SiO_3 含量一般 20.8~36.4mg/L。

②馆陶组地热流体化学特征

馆陶组热储层地热流体水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{ Cl-Na}$ 型。溶解性总固体 363.0~17421.7mg/L，属微淡水-微咸水；馆陶组上段在开封市区及附近总硬度 20.0~208.5，属极软水—软水，至馆陶组下段总硬度逐渐增大，可达 3932.0mg/L，属硬水-特硬水；PH 值 7.20~8.35，为弱碱性水；氟化物含量 0.06~2.8mg/L，多为高氟水；阴离子以氯离子和碳酸根离子为主，阳离子以钠为主。 H_2SiO_3 含量一般 39~49.4mg/l。

2.4.2 资源分区

开封市主要地处济源-开封凹陷的开封次凹陷和通许凸起两大地质构造单元内。结合开封市所处地热地质条件和开封市已开展的地热工作成果，把开封市划分成两大地热资源分区和 10 个次级分区，暖色表示资源较好区块（图 11，表 9）。

(1) I 区开封凹陷

热储包括新近系明化镇组、新近系馆陶组、古近系、下古生界寒武-奥陶系。

新近系明化镇组：热储顶板埋深 320m 左右，有效厚度 420m 左右，热储温度 45℃，单井出水量大于 1290m³/d；该热储厚度大，温度较高，水量丰富。水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型，其次为 $\text{SO}_4\text{ Cl-Na}$ 型。离子组分含量：溶解性总固体 671~1823.4mg/L，总硬度 25.87~204.31mg/L，pH 值 8.31~8.81，F-含量 0.87~2.99mg/L，为含偏硅酸、偏硼酸的氟地热水。开发利用程度较高，目前多以洗浴为主，部分地段水质较好，作为饮用水使用。适用于洗浴用水、温室种植、养殖、农灌。该热储层温水适宜开采深度 310~780m 左右，温热水适宜开采深度 780~1400m 左右，热水适宜开采深度 1400~1600m 左右。

新近系馆陶组：热储顶板埋深 1600m 左右，有效厚度 110m 左右，热储温度为 73℃，单井出水量 1300m³/d。水化学类型主要为 Cl-Na 型，溶解性总固体 4750mg/L。因水质

原因，开发利用程度极低，适用于温室种植、养殖，不适宜农灌。该热储层热水适宜开采深度 1600~2000m 左右。

古近系：热储顶板埋深 2000m 左右，有效厚度 1800m 左右，热储温度为 108℃，单井出水量 1300m³/d。水化学类型主要为 Cl-Na、SO₄ Cl-Na 型。离子组分含量：溶解性总固体 671~1823.4mg/L，总硬度 25.87~204.31mg/L，pH 值 8.31~8.81，F-含量 0.6~1.31mg/L，为含偏硅酸（偏硼酸）的地热水。适用于供暖、洗浴、温室种植、养殖、农灌。该热储层温水适宜开采深度 360~920m 左右，温热水适宜开采深度 920~1660m 左右，热水适宜开采深度 1660~2340m 左右，中温水适宜开采深度 2340~3800m 左右。

寒武-奥陶系：分布于郑州市西南部一带，热储顶板埋深 1000m 左右，厚度 600m 左右，热储温度为 53℃，岩溶裂隙发育地段，单井出水量可达 2880m³/d。水化学类型主要为 SO₄，Ca 型。离子组分含量：溶解性总固体 2935.2mg/L，总硬度 2211.82mg/L，pH 值 7.01，F-含量 2.95mg/L。适用于医疗、休闲洗浴、采暖、温室种植、养殖。因富水程度差异较大，不宜大量集中开采。

表 9 规划区地热分区

单元代号	单元名	I 级分区	II 级分区
开封次凹陷	I	I -1	兰考东段
		I -2	开封市区东段
		I -3	开封市区西段
		I -4	祥符区南段
通许凸起	II	II -1	通许凸起北西段
		II -2	通许凸起北东段
		II -3	通许凸起中段
		II -4	通许凸起南段
		II -5	通许凸起尉氏县北段
		II -6	通许凸起尉氏县南段

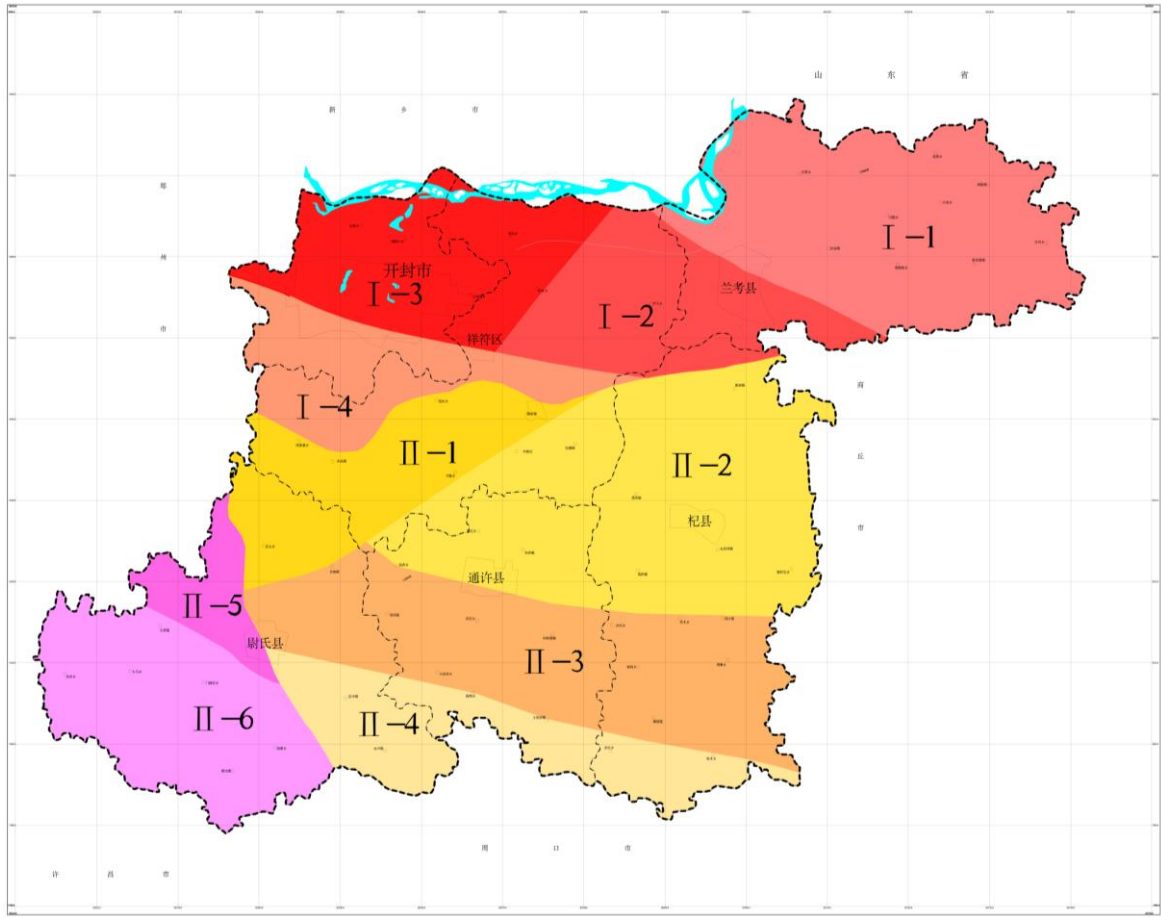


图 11 开封市地热资源地区划分图（红色为资源较好区块）

(2) II 区通许凸起

热储包括新近系明化镇组、新近系馆陶组、古近系、下古生界寒武-奥陶系。

新近系明化镇组：热储顶板埋深 270m 左右，有效厚度 190m 左右，热储温度 35℃，单井出水量大于 1000m³/d。水化学类型主要为 HCO³⁻-Na 型。离子组分含量：溶解性总固体 973.36~1656.2mg/L，总硬度 26.87~49.19mg/L，pH 值 8.27~8.79，F-含量 0.83~2.5mg/L，为含偏硅酸、偏硼酸的地热水，部分地段氟含量达到或超过矿水命名浓度。开发利用程度较高，主要用于洗浴、供暖。适用于医疗、洗浴休闲、温室种植、养殖。该热储层温水适宜开采深度 270~780m 左右，温热水适宜开采深度 720~1000m 左右。

新近系馆陶组：热储顶板埋深 800~950m 左右，有效厚度 40m 左右，热储温度为 52℃，单井出水量 500m³/d 左右。水化学类型主要为 HCO₃-Na、SO₄ Cl-Na 型。离子组分含量：溶解性总固体 780.28~2790.4mg/L，总硬度 34.98~219.53mg/L，pH 值 8.27~8.79，F-含量 0.75~5.2mg/L，为含偏硅酸、偏硼酸的氟地热水。适用于医疗、休闲洗浴、温室种植、养殖。该热储层温热水适宜开采深度 720~1300m 左右。

古近系：仅分布于通许凸起南部的临颖-西华-太康一带，热储顶板埋深 900m 左右，有效厚度 60m 左右，热储温度为 51℃，单井出水量 720m³/d。水化学类型主要为 HCO₃-Na、Cl-Na 型。离子组分含量：溶解性总固体 1020.7~2955.9mg/L，总硬度 20.82~127.25mg/L，pH 值 7.77~8.75，F-含量 1.6~2.98mg/L，为含偏硅酸、偏硼酸的氟地热水。适用于医疗、休闲洗浴、温室种植、供暖。该热储层温热水适宜开采深度 1100~1330m 左右，热水适宜开采深度 1330~2240m 左右，中温水适宜开采深度 2240~2500m 左右。

寒武-奥陶系：热储顶板埋深 2400m 左右，厚度 800m 左右，热储温度 95℃。单井出水量 280m³/d。根据区域地质资料，该区岩溶裂隙较发育，水质较好。适用于休闲洗浴、采暖、烘干。因水量较小，不宜大量集中开采。

综合评价，规划区中深层地热供暖本阶段建议开采层位为馆陶组，明化镇组水质较好可作为储备水源或温泉等高端开发。前新生代热储不易大量集中开采。

2.4.3 资源评价

2.4.3.1 水质评价

水质评价主要参考《河南省开封凹陷区地热资源调查报告》、《通许地热普查报告》、《郑州航空港经济综合试验区（尉氏段）地热资源调查报告》和《河南省兰考县县城规划区及其周边地热资源调查报告》水质评价结果。生活饮用水功能评价选用《生活饮用水卫生标准》（GB/5749-2006）作为评价标准；饮用天然矿泉水评价根据《饮用天然矿泉水》（GB8537-2008）作为评价标准；理疗热矿水评价根据《地热资源地质勘查规范》（GB/T11615—2010）附录 E：《理疗热矿泉水水质标准》的规定指标；农业灌溉用水评价根据《农田灌溉水质标准》（GB5084—2005）作为评价标准。

（1）生活饮用水评价

开封市（含祥符区）、尉氏县、通许县及杞县新近系明化镇组地热水具有无色透明、水质洁净的物理特征，并含有人体需要的多种有益成分，维持人体身体平衡，其浓度满足人体所需要的浓度，可作为生活饮用水；明化镇组底部和馆陶组地热水部分含量超标，例如热水储层地热流体铁离子、氟离子、硫酸盐含量超标，不适于作为生活饮用水。兰考县新近系明化镇组地热水中的铁、硫酸盐、氯化物及溶解性总固体含量超过感官和化学指标，氟化物含量超过毒理学指标，新近系馆陶组地热流体的色度、浑浊度、总硬度、铁、锰、硫酸盐、氯化物及溶解性总固体含量超标超过感官和化学指标，故不适于作为生活饮用水。

(2) 饮用天然矿泉水评价

开封市（含祥符区）、尉氏县、通许县及杞县新近系明化镇组地热水中溶解性总固体、锶和偏硅酸含量大部分达到了饮用天然矿泉水标准中规定含量的指标，除少数区域存在溴酸盐和氟化物含量超标外，其余均不超标；兰考县新近系明化镇组地热水各离子含量未达到饮用天然矿泉水标准，还存在碘化物、铅和耗氧量超标，不能作为饮用天然矿泉水。总体上开封市新近系明化镇组地热水水质较好，可作为开封市战略水资源储备层。开封市新近系馆陶组地热水多存在浑浊度、色度、碘化物、耗氧量等超标，不能作为饮用天然矿泉水。

(3) 医疗矿水评价

开封市全区域内地热流体对人体有一定医疗价值的成份有氟、偏硼酸及偏硅酸普遍达到了医疗价值浓度，且部分含量达到了矿水浓度，具有较高的医疗价值。在兰考县新近系馆陶组地热水中除偏硅酸、偏硼酸外，溴、碘、锂、锶含量达到了矿水浓度，且地热水温度较高，具有较高医疗价值。

(4) 农业灌溉用水评价

开封市新近系明化镇组上段温水储层地热流体符合农业灌溉用水标准；新近系明化镇组下段及馆陶组储层地热水地热流体井温较高、全盐量局部超标，不适宜农业灌溉用水。

2.4.3.2 地热流体腐蚀性及其结垢性评价

(1) 地热流体腐蚀性

根据水质分析报告，本区 PH 值在 7.6~8.3 之间，为弱碱性水，根据《地热资源地质勘查规范》（GB/T11615-2010），地热流体腐蚀性可参照工业上用腐蚀系数 K_k 来衡量地热流体的腐蚀性。

根据《通许地热普查报告》和《郑州航空港经济综合试验区（尉氏段）地热资源调查报告》评价结果，通许凸起范围内（尉氏、通许、杞县及祥符区一部分）明化镇组和馆陶组地热水 K_k 值范围一般在 -10.5~-3.4 之间， $K_k+0.0503rCa^{2+}$ 值范围一般在 -9.6~-2.0 之间，评价结果为非腐蚀性水。根据《河南省开封凹陷区地热资源调查报告》评价结果，开封次凹陷内，开封市区及祥符区大部分区域明化镇组、馆陶组上段为**非腐蚀性水**，馆陶组下段地热水存在腐蚀性；根据《河南省兰考县县城规划区及其周边地热资源调查报告》评价结果，兰考县明化镇组和馆陶组地热水均为**腐蚀性水**。

(2) 地热流体结垢性

地热流体中所含 SiO_2 、Ca、Fe 等组份因温度变化（降低）而产生结垢的特点，在评价其结垢程度时参照工业上用锅垢总量来衡量地热流体的结垢性。根据《通许地热普查报告》和《郑州航空港经济综合试验区（尉氏段）地热资源调查报告》评价结果，通许凸起范围内（尉氏、通许、杞县及祥符区一部分）明化镇组和馆陶组地热水锅垢很少，具有中等沉淀物，随着深度的增加会出现硬沉淀物。根据《河南省开封凹陷区地热资源调查报告》评价结果，开封次凹陷内，开封市区及祥符区大部分区域明化镇组、馆陶组地热水锅垢很少，**不易结垢**；根据《河南省兰考县县城规划区及其周边地热资源调查报告》评价结果，兰考县明化镇组地热水锅垢很少，为几乎无沉淀物的水，馆陶组地热水为**锅垢很多**，有硬沉淀物的水。

2.4.3.3 资源量及可采资源量评价

由于本次规划市对开封市地热资源供暖规划，且新近系明化镇组热储层地热水水质普遍较好，可作为开封市战略水资源储备层，所以在进行资源评价时只对新近系馆陶组热储层进行地热资源分区评价。资源量计算参数参考《开封凹陷区深层地热资源在城市集中供暖中的应用研究》、《河南省开封凹陷区地热资源调查报告》、《通许地热普查报告》、《郑州航空港经济综合试验区（尉氏段）地热资源调查报告》和《河南省兰考县县城规划区及其周边地热资源调查报告》。

热储法是将地下热储作为静态储水单元，根据热储的体积、含水率和热物性参数，并考虑到地热水实际利用温差计算热储所含资源总量。计算结果显示新近系馆陶组热储储存热水资源静态资源总量为 $3905.30 \times 10^8 \text{m}^3$ ，地热流体储存热能量为 $178.00 \times 10^{18} \text{J}$ ，其它各分区地热水资源量和存储热能量见表 10。

表 10 新近系馆陶组热储地热储存资源量计算成果表（热储法）

计算分区	面积 (km^2)	储层时代	平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)	地热流体储量 (10^8m^3)	热储层储存热能量 (10^{18}J)	可采地热流体量 (10^8m^3)	可利用热能量 (10^{18}J)
I-1	938	馆陶组	74	668.79	39.01	167.20	9.75
I-2	512	馆陶组	73.8	578.26	33.07	144.57	8.27
I-3	574	馆陶组	75.8	646.12	38.23	161.53	9.56
I-4	405	馆陶组	63.3	472.55	19.19	118.14	4.80
II-1	497	馆陶组	51.6	468.21	13.18	117.05	3.30

II-2	1196	馆陶组	59.8	574.08	20.81	143.52	5.20
II-3	916	馆陶组	52.9	164.70	5.03	41.18	1.26
II-4	466	馆陶组	49.5	28.02	0.78	7.01	0.20
II-5	152	馆陶组	53	96.19	3.09	24.05	0.77
II-6	610	馆陶组	47	208.38	5.62	52.10	1.41
合计	6266	馆陶组		3905.30	178.00	976.33	44.50

根据《地热资源评价方法及估算规程》(DZ/T 0331-2020), 规划区地热水回收率可取 25%, 则根据热储法估算的可采资源量为 $976.3 \times 10^8 \text{m}^3$ 。开采期按 50 年计算, 则规划区可开采量为 $19.5 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$, 或 $534.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 估算可供暖面积 19 亿 m^2 。

100%回灌情况下, 对于封隔条件较好的热储可采用解析法计算可开采量。根据开封市城区地质模型, 利用 FEflow 模拟不同采灌工况下井间距见表 11。

表 11 规划区内开封市城区各工况合理采灌井间距统计表

模拟工况	回灌温度($^{\circ}\text{C}$)	开采量(m^3/h)	回灌量(m^3/h)	建议采灌井间距(m)
I	15	100	30	400
II	15	100	50	400
III	15	100	100	500
IV	20	100	30	400
V	20	100	50	400
VI	20	100	100	500

除开封市城区和祥符区部分区域以外, 其他各县区尚未进行系统的采灌井间距论证, 根据开封市馆陶组热储岩性、物性等相关参数, 建立新近系馆陶组地热地质概念模型, 结合数值模拟结果, 保守设计开封市及其所辖县区不同地热井开发同一层位地热流体时, 相关地热井在该取水层取水位置间距不少于 500m。据此计算规划区地热水可开采量为 $1203.1 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 估算可供暖面积 43 亿 m^2 。是热储法估算结果的 2.2 倍。

按照最优井间距计算, 开封市中心城区可规划钻井数约 995 口, 考虑将部分地热井布置在城区周边土地, 可布置井数 1055 口。按照单口井出水量 $60 \text{m}^3/\text{h}$, 开采水温 70°C , 回灌水温 25°C 估算, 最大可供暖面积 3450 万 m^2 。开发程度为 60%时, 可供暖面积约 2000 万 m^2 。综合考虑, 建议中心城区中深层地热供暖面积规划值为 2000 万 m^2 , 剩余部分可采用浅层地热能、太阳能、空气源等清洁能源方式作为补充。

开封市祥符区总面积 1302km^2 , 其中中心城区面积按 50.5km^2 考虑(北至陇海铁路,

西接开封城区，南至 S327 省道，东达大北高速)，祥符区中心城区可布置地热井数约 180 口，可供暖面积约 650 万 m²。

2.4.3.4 单井采水量评价

目前，规划区开展了大量地热井抽水试验，现选取典型地热井抽水试验结果进行地热井单井采水量评价，详细抽水试验数据见表 12。

表 12 抽水试验结果统计表

项目	开封 试验 1#井	开封 试验 2#井	尉氏县 星海井	兰考 油田六社区 1#	通许 九龙宾馆
抽水试验区段 (m)	1425-1970	1400-1700	795.8~1076	1340-1980	827~936
热储含水层 累计厚度 (m)	201	165	86.1	340.3	62
静水位埋深 (m)	-51	-102	-87.98	-35	-20.2
降深 (m)	34	28	14.21	12.5	3.86
抽水涌水量 (m ³ /h)	65	52	23.9	106	20
单位涌水量 (m ³ /h·m)	1.912	1.857	1.682	8.480	5.181
建议取水量 (m ³ /h)	90	90	80	120~130	120~130

规划区不同区域抽水试验结果显示，取水量与水位降深呈现一定的相关关系，取水量越大，降深越大，由于地质因素影响，不同区域又存在差异。根据《地热资源勘查规范》GB11615-2010，地热资源科学开发要求降深一般不大于 30m，最大不大于 50m，结合现有规划区地热取水情况，综合考虑地层稳定性和地热供暖集中开发的特点，建议开封市和尉氏县单井取水量控制在 90 m³/h，兰考县和通许县单井取水量控制在 130 m³/h 以内，杞县地区尚未掌握到相关数据，建议取水量控制在 80m³/h。

3.4.3.5 回灌方案确定

近年来，随着国家对地热利用和地热资源管理的重视，许多省市都出台了相关法规，要求地热尾水必须进行回灌。为保证地热开发的可持续性和环保要求，本次规划设计开采方案为以灌定采，保证 100%回灌。结合开封市地热田特征，拟在前期试点阶段采用对井开发模式，选用合适的采灌比，采、灌井设计可切换利用，井距保持在 400m 以上，若受场地限制时回灌井可设计为大斜度井，保证采、灌井回灌层间距；采用“回扬-回灌”与“加压回灌”相结合的方式，操作性、经济性较强，是试点阶段最适宜的回灌运行方式。而在供暖严寒期开采高峰期，地热流体开采量较大时，也可直接采取封闭井口加压回灌

模式与回扬模式相结合的方式，更好的应对地热开采高峰期，减少资源浪费。同时需要建立合理的回灌地面配套工艺，保证回灌正常进行。

后期大规模推广阶段，宜采用群井采灌模式，需对开封市规划区地热开发利用进行统一规划部署，采-灌分区明确，地面配套设施完善。另外可尝试国内外已有成功案例，回灌井采用射孔完井等方式，增大回灌量。

2.5 发展形势和必要性

2.5.1 促进能源结构调整

地热能是一种绿色低碳、可循环利用的可再生能源，具有储量大、分布广、清洁环保、稳定可靠等特点，是一种现实可行且具有竞争力的清洁能源。我国地热资源丰富，市场潜力巨大，发展前景广阔。加快开发利用地热能不仅对调整能源结构、节能减排、改善环境具有重要意义，而且对培育新兴产业、促进新型城镇化建设、增加就业均具有显著的拉动效应，是促进生态文明建设的重要举措。

与其它能源相比，地热的优势有：

(1) 属本土能源。地热能来自国土地下，潜力巨大，作为替代能源，地热能源开发可以减小国家对进口石油和煤炭的依赖，有利于国家能源安全；

(2) 带动系数高。具有多种综合利用价值，可以带动包括旅游在内的相关产业发展；

(3) 占地少。地热发电单位装机容量占地比太阳能发电、风电、煤电及核电等至少低一个量级；

(4) 环境友好。如果实行合理回灌，可以基本做到零排放；

(5) 成本低。国际能源署的最新评估显示，无论是现在还是将来 2030 年内，地热发电成本都将大大低于太阳能发电、风电和煤电等。原因在于地热能源开发虽然早期勘探投资高，但建成后无燃料费用，运行费用极低。

目前国内地热能已广泛应用于供热制冷、农业、洗浴、养殖等，并已成为城镇燃煤供暖替代的“首选”。合理的开发利用地热资源，对缓解能源束缚和环境压力，促进能源结构调整和优化，具有重要的意义。

积极开发利用开封市地热能资源，对于缓解开封市及河南省环境污染、改善能源结构等具有非常积极的意义，是发展循环经济、建设节约型社会的具体体现。随着地热供暖工程逐步开发，可逐步替代当地化石热源，有力的加强当地供暖能力，改善当地的供

暖能源结构。

2.5.2 推动地热产业发展，符合国家及河南省相关政策

目前，我国已成为世界能源生产和消费大国，但人均能源消费水平还不高。随着经济和社会的不断发展，我国能源需求将持续增长。增加能源供应、保障能源安全、保护生态环境、促进经济和社会的可持续发展，是我国经济和社会发展的一项重大战略任务。为减少对一次能源的依赖，保护人类的生存环境，我国政府已承诺走可持续发展的道路，明确经济的发展不以牺牲后代生存环境、资源为代价，并研究、制定和开始执行经济、社会和资源相互协调的可持续发展战略。

2020年9月22日，习近平主席提出，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。在2020年12月12日的气候雄心峰会上，习近平主席提出，“到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右”，为2021~2030年可再生能源发展设定了目标。

合理有序开发地热资源，建设地热供暖工程替代化石能源，有助于加快实现碳达峰及碳中和的目标。自2017年以来，国家发改委等部门先后发布了《关于推进北方采暖地区城镇清洁供暖的指导意见》、《关于加快浅层地热能开发利用促进北方采暖地区燃煤减量替代的通知》，提出按照“企业为主、政府推动、居民可承受”方针，统筹运用相关政策，支持和规范浅层地热能开发利用，提升居民供暖清洁化水平，改善空气质量。

2021年1月27日，国家能源局发布了《关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》（国能发新能〔2021〕3号），提出将可再生能源供暖作为区域能源规划的一项重要内容。要求积极推广地热能开发利用。重点推进中深层地热能供暖，按照“以灌定采、采灌均衡、水热均衡”的原则，根据地热形成机理、地热资源品位和资源量、地下水生态环境条件，实施总量控制，分区分类管理，以集中与分散相结合的方式推进中深层地热能供暖。在条件适宜的地区加大“井下换热”技术推广应用力度。积极开发浅层地热能供暖，经济高效替代散煤供暖，在有条件的地区发展地表水源、土壤源、地下水源供暖制冷等。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力，建

设一批多能互补的清洁能源基地，非化石能源占能源消费总量比重提高到 20%左右，并提出要因地制宜开发利用地热能。

地方上，河南省及开封市均大力支持和鼓励地热能开发，十三五期间已开发建设了一批地热能供暖试点项目。2019 年，省发改委发布了《河南省促进地热能供暖的指导意见》，为地热能供暖项目建设及产业发展提供有力支撑。根据《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》、《河南省北方地区冬季清洁取暖实施方案（2018-2021 年）》，开封市制定了《开封市 2020 年大气、水、土壤污染防治攻坚战实施方案》。为改善全市环境空气质量，坚决打赢蓝天保卫战，开封市将大力推动集中供暖建设，有效推进清洁取暖建设。在保证温暖过冬的前提下，集中资源大力推进清洁取暖，同步推动建筑节能改造，提高能源利用效率。加快构建地热供暖产业服务体系，研究完善支持政策，因地制宜推进地热供暖项目建设。

2021 年 3 月 29 日，河南省发展和改革委员会发布了《关于印发河南省 2021 年清洁取暖工作方案的通知》，明确提出 2021 年 11 月 15 日前新增地热供暖能力 1400 万平方米。

综上所述，开封市地热资源的开发利用及地热供暖工程的建设符合国家及河南省大力推进清洁能源及地热发展的政策。

2.5.3 建设优势和作用显著

开封市人口众多，供暖需求较大，地热能资源也较丰富，因此，现阶段积极开发开封市地热能资源优势明显。

本项目具有开发建设的有利条件和资源优势：

(1) 浅层地热能全域适合土源热泵开发，考虑实际建设区分布，浅层地热能总计可利用资源量 196.92×10^{12} kJ/a，预计可服务面积 2.3 亿 m^2 。中心城区浅层地热资源量为 34.35×10^{12} kJ/a，可供暖面积约 3500 万 m^2 。规划区馆陶组中深层地热能可开采热水资源总量为 $1203.1 \times 10^4 m^3/d$ ，估算可供暖面积 43 亿 m^2 ，其中主城区可供暖面积约 2000 万 m^2 。浅层地热+中深层地热开采模式基本满足中心城区当前及未来一段时间供热需求。

(2) 地热供暖工程建设可以增加当地财政收入，推动经济发展，提供就业机会。

(3) 地热供暖工程的建设周期短，自动化程度高，运行维护方便。

(4) 地热供暖工程建成后，可代替一部分化石燃料，改善能源结构。

(5) 地热能作为清洁可再生能源，不排放任何有害气体，有助于保护生态环境。

综上所述，本项目的开发建设符合国家、地方的规划及政策，能有效的促进地方经济，带动地热能产业链的发展，具有良好的社会效益和环境效益；同时，对于改善当地供暖系统的能源结构，推动地热能事业的发展，开发可再生能源有着积极的意义。开发建设开封市地热能供暖工程有利于优化利用地区埋藏地热资源、因地制宜提高地热能利用效率、推动地热与其他分布式能源融合发展。所以，积极开发本项目是必要的。

3 指导思想和目标

3.1 指导思想

深入贯彻落实习近平总书记“四个革命、一个合作”能源发展战略思想，坚持“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念，根据国家《“十四五”规划》、《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》的要求，遵循“因地制宜开发地热能”的方针，结合开封市地热资源特点，以保障居民供暖、优化能源结构、创新能源发展方式、改善生态环境为主线，充分发挥开封市地热资源优势，通过科学规划、有序开发、试点引领，推动开封市地热供暖工程的建设，探索开封市清洁能源供暖模式，实现当地能源与经济、社会、生态环境协调发展。

3.2 规划思路

在保障居民供暖及地热资源可持续开发的前提下，以实际勘探资料为基础，摸清地热资源可开发量及分布特征，结合开封市实际情况，分析地热供暖工程建设条件，探索适合当地的地热能开发、运行方式，科学拟定发展目标和建设布局，有效推进首批试点项目尽快落地，为后续项目的工程建设、运行积累经验，从而为开封市及周边城市的地热能源供暖模式提供示范。

3.3 基本原则

（1）坚持以人为本

地热供暖的规划要从保障人民生命财产安全、提高人民群众生活水平和生活质量的实际要求出发，把人民群众的根本利益作为工作的出发点，着力解决好与人民切身利益密切相关的供暖问题，努力满足人民群众生产生活的供暖需求。

（2）人与自然和谐

地热能的开采要尊重自然规律和经济规律，充分考虑资源承载能力和环境承载能力，坚决禁止对自然无限制的索取和肆意破坏，妥善处理能源开发与环境保护的关系，实现人与自然和谐发展。

（3）地热能可持续发展

根据市区内地热资源分布情况，按照“高效利用、保护环境、合理布局、有序开发”

的思路，坚持以资源定规划、以规划定项目，先规划，后开发的原则，保证地热资源的健康可持续发展。

（4）符合城市发展规划

地热供暖工程规划应符合城市总体规划、十四五可再生能源发展规划、十四五供暖规划等。地热井、地热站布局应符合城市发展和用地设想。

3.4 规划依据

3.4.1 相关法规政策及规划

《中华人民共和国矿产资源法》；

《矿产资源勘查登记管理办法》（国务院第 240 号令）；

《矿产资源开采登记管理办法》（国务院第 241 号令）；

《中华人民共和国城乡规划法》；

《中华人民共和国节约能源法》；

《国务院落实科学发展观加强环境保护的决定》（国发〔2005〕39 号）；

《关于加强城市供热规划管理工作的通知》（建设部、国家计委、城建〔1995〕126 号）；

《国家能源局综合司 国土资源部办公厅关于组织编制地热能开发利用规划的通知》（国能综新能〔2014〕497 号）；

《国家能源局、财政部、国土资源部、住房和城乡建设部关于促进地热能开发利用的指导意见》（国能新能〔2013〕48 号）。

《关于推进北方采暖地区城镇清洁供暖的指导意见》（建城〔2017〕196 号）；

《关于加快浅层地热能开发利用促进北方采暖地区燃煤减量替代的通知》（发改环资〔2017〕2278 号）；

《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》；

《河南省北方地区冬季清洁取暖实施方案（2018-2021 年）》；

《关于印发河南省促进地热能供暖的指导意见的通知》（豫发改能源〔2019〕451 号）；

《开封市 2020 年大气、水、土壤污染防治攻坚战实施方案》；

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》

《财政部关于提前下达 2021 年大气污染防治资金预算的通知》（财资环〔2020〕73

号);

《关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》(国能发新能〔2021〕3号);

《关于促进地热能开发利用的若干意见》(国能发新能规〔2021〕43号);

《关于印发河南省2021年清洁取暖工作方案的通知》(豫发改电力〔2021〕220号)。

3.4.2 相关规范规程

《地热资源评价方法》(DZ40—85);

《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010);

《地热资源评价方法及估算规程》(DZ0331—2020);

《浅层地热能勘查评价规范》(DZ/T0225—2009);

《地热钻探技术规程》(DZ/T0260—2014);

《饮用天然矿泉水标准》(GB8537—2008);

《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006);

《渔业用水标准》(GB11607—89);

《农田灌溉水质标准》(GB5084—2005);

《地热供热站设计规范》(NB/T10273—2019)

《开封市城市总体规划》(2011—2020年);

《开封市城市集中供暖规划》(2013—2020年);

《开封市冬季清洁取暖实施方案》(2017—2019年);

《开封市城市集中供热规划(2013—2020)》 开封市城市管理局 河南省城市规划设计研究总院有限公司 2013年11月。

3.4.3 技术资料

《河南省综合性地质-水文地质报告》(1:20万);

《开封幅水文地质图幅说明》(1:20万);

《区域水文地质普查报告(杞县幅)》;

《河南省通许区域水文地质调查报告》(1:5万);

《河南省尉氏县区域水文地质调查报告》(1:10万);

《河南省环境地质调查报告》(1:50万);

《河南省杞县区域水文地质调查报告》(1:10万);

《河南省主要城市环境地质调查评价报告(开封市)》;

《河南省地热资源调查研究报告》；
《开封市区地下热流系统及开发工程配置研究》；
《开封市地热在供暖中的应用》；
《郑汴地区地热资源开发现状及对策调研报告》；
《河南省豫东地区地热资源综合研究报告》；
《开封市城市规划合理开发利用深层地下水规划方案》；
《河南省地热资源调查与开发利用保护区划报告》；
《河南省地热资源调查与开发利用保护区划》；
《河南省开封凹陷区地热资源调查报告》；
《河南省通许县地热资源普查报告》；
《河南省地热资源现状调查评价与区划报告》；
《河南省地热资源分布图》；
《郑州市航空港区东延（尉氏）地热资源调查评价工作总结》；
《河南省兰考县城规划区及其周边地热资源调查报告》；
《郑州航空港经济综合试验区（尉氏段）地热资源调查报告》；
《开封凹陷区深层地热资源在城市集中供暖中的应用研究》。

开封市水利局、开封市自然资源与规划局、开封市水文局提供的水文资料、水资源论证报告、相关规划等基础数据和原始资料。

3.5 规划任务及范围

规划任务：为完善开封市城市基础建设，保障居民冬季清洁取暖，合理规划、积极推广地热资源取暖，促进城市经济社会全面协调可持续发展，现根据开封市实际情况，依据国家和地方有关法规及标准，编制本规划。

规划年限：2021年~2025年

规划范围：规划范围为开封市行政区域，包括下辖五区四县。规划重点为中心城区、禹王台区、祥符区，兼顾规划全市县城其他区域内的地热资源开发利用。其中中心城区范围为：东至青年路，西至开封郑州交界处，北至复兴大道，南至国道310。



图 12 规划范围示意图

3.6 发展目标

2021-2022 年，开封市新增地热供暖面积 250 万平方米，每年替代标煤 7.25 万吨，每年碳减排量 18.12 万吨，总投资 8.75 亿元；2022-2023 年，开封市新增地热供暖面积 450 万平方米，每年替代标煤 13.04 万吨，每年碳减排量 32.61 万吨，总投资 15.75 亿元；2023-2025 年，开封市新增地热供暖面积 700 万平方米，每年替代标煤 20.29 万吨，每年碳减排量 50.72 万吨，总投资 24.5 亿元。十四五规划期间新增地热供暖面积 1400 万平方米。

4 重点任务

4.1 开发建设原则

(1) 依法开发建设

地热供暖项目开发须按照《开封市矿产资源规划（2021—2025年）》，根据《矿产资源勘查登记管理办法》、《矿产资源开采登记管理办法》（国务院第240、241号令）的有关规定，依法办理勘查、采矿登记、许可手续。

(2) 倡导整体开发

采取地热区块整体开发的方式推进地热能供暖，调动企业对于保护资源以及可持续发展的积极性。

(3) 地热利用规范化

从地理位置上，优先发展城区公共建筑，以现有地热开采井联合未来规划的地热井，进行开发利用系统规范化建设和改造带动市的地热开发。

(4) 先勘查，后利用

从顺序上，应坚持“先勘查、后利用”的原则。目前的勘查精度远远满足不了开发需求，必须开展大比例尺地热资源的勘查工作，查明资源总量，及时调整规划总量控制目标和开采布局，避免盲目建设造成过量开采。

(5) 先示范，后推广

尽快完成供热示范工程的建设，在其开发过程中监测居民入住率对地热水用量的影响，以及随着地热井的开采对回灌量的影响关系，总结经验，以点带面，全面推进其它地热供热工程标准化建设，提高地热利用率。

(6) 在保证回灌的基础上合理开采地热资源

从地热保护上，地热开发利用应先有保护措施再进行开发，坚持“以灌定采、采灌均衡、水热均衡”。重视回灌工作，每个供暖点开展至少一个供暖季回灌试验研究，根据回灌量审批其开采量，保证采灌平衡。

(7) 逐步增大回灌量

本规划必须严格遵守“以灌定采”的开采原则，故需要逐步增加地热回灌井的回灌量以增加该区域地热开采井的开采量，达到资源开发利用的采灌平衡。

随着地热开采井开采量的逐步增加，热储压力的自然下降，也会有利于回灌量的逐步增加。最终增加后的回灌量不能超过该规划区内每一眼地热回灌井通过资源评价确定的可灌量。当规划区需供热建筑面积增加，最大可灌量对应的开采量提供的热量不能满足热负荷需求时，建议增加天然气等其他热源作为备用热源。

4.2 资源开发总体方案

开封市地热资源勘查开发需遵循科学开发理念，合理利用和有效保护地热资源，实现可持续利用。各个项目开发时需充分结合项目地地热资源条件，科学制定总体供暖方案。总体供暖方案以中深层水热型地热供暖为主，根据项目具体情况可辅以浅层水热型地热供暖、空气源热泵、地埋管地源热泵、水源热泵、太阳能供暖等其他供暖形式作为补充。

4.3 地热资源开发利用市场需求分析

根据河南省城市规划设计研究总院有限公司于 2013 年 11 月编制的《开封市集中供热规划》(2013-2020)，2013 年、2015 年、2020 年开封市规划区域内建筑面积、集中供热面积及供热负荷如表 13 所示：

表 13 开封市 2013-2020 年建筑面积规划及供热负荷

	2013 年	2015 年 (规划)	2020 年 (规划)
建筑面积($\times 10^4 \text{m}^2$)	4653.87	6469.81	7281.5
集中供热面积($\times 10^4 \text{m}^2$)	789.02	2028.12	3792.24
集中供热负荷(MW)	/	982.79	1665.48
集中供热量($\times 10^4 \text{GJ}$)	/	736.69	1248.43
折合蒸汽量($\times 10^4 \text{t/a}$)	/	292.34	495.41
集中供热平均单位面积热负荷(W/m^2)	/	48.46	43.92

其中规划区域范围为开封市中心城区、祥符区、禹王台区（主要包括开封市精细化工产业聚集区）。

将三年的建筑面积进行一次线性拟合，可得到 2021 年、2023 年和 2025 年的建筑面积和建筑面积增量，计算新增供热负荷（

表 14）。计算结果为预测值，实际规划值以相关政府部门数据为准。

表 14 开封市 2021-2025 年预测建筑面积及供热负荷

	2021 年	2023 年	2025 年
建筑面积(万平方米)	7813.61	8482.43	9151.25
相比 2020 年新增 建筑面积(万平方米)	532.11	1200.93	1869.75
相比 2020 年新增 供热负荷(MW)	212.84	480.38	747.90

如使用浅层水热型地热资源，冬季开封市城区、禹王台区、祥符区可利用资源量为 $19.492 \times 10^{12} \text{kJ/a}$ ，折合为热功率为 618.09MW，对应供暖面积为 1545.23 万平方米。

中深层地热资源较为丰富，开采限制因素主要为老城区禁采区与井间距，井间距过近会对影响地热工程的长期稳定运行。合理考虑井间距后，开封市城区、禹王台区、祥符区共约 1.3 亿平方米范围内（老城区为禁采区，已扣除），合理布置地热井，区域外配置少量生产井用于辅助供热，共可满足约 2000 万平方米供暖面积。

综上所述，规划时间范围内，水热型地热资源可满足供暖面积约为 3500 万平方米。

目前开封市 $2 \times 630 \text{MW}$ 供热机组集中供暖面积约为 2500 万平方米，供热管网横跨顺河回族区、龙亭区、祥符区、城乡一体化示范区 4 个行政区域，同时也是汴西湖以西区域主要的集中供热热源。结合开封市地热供暖建设计划，可对原有集中供暖管网进行逐步改造与提升。

4.4 地热资源开发利用重点规划

综合行政区划、建设程度、道路交通、供热现状、地热资源禁采区等将开封市中心城区划分为 9 个区块，如附图 1 所示。根据《开封市金盛热力有限公司管网平面图》（附图 2）目前开封市中心城区集中供暖区域主要分布在区块 2、区块 4、区块 6 和禁采区。

结合地热资源与已有供热情况，规划年限内重点在区块 2、区块 5、区块 8 和祥符区中建设地热供暖工程，其他区块同步开发建设。其中新建地热供暖工程主要集中在开封市南侧的区块 5、区块 8，改造地热供暖工程（地热作为第二热源）主要集中在开封

市西北侧的区块 2。对于禁采区内用热需求，拟将禁采区附近区块（区块 1、区块 5、区块 8）的地热资源输送至禁采区内，作为第二热源。具体开发建设计划指标如下：

表 15 地热供暖工程建设计划

单位：万平方米		2021-2022	2022-2023	2023-2025	合计	需要生产井数量
新增地热供暖面积	区块 1	5	7.5	10	22.5	3
	区块 3	5	7.5	10	22.5	3
	区块 5	60	90	120	270	27
	区块 7	5	7.5	10	22.5	3
	区块 8	70	105	140	315	32
	区块 9	1	1.5	2	4.5	1
	祥符区	30	45	60	135	14
	其他区域	24	36	48	108	11
	合计	200	300	400	900	94
改建地热供暖面积 (第二热源)	区块 2	25	75	150	250	25
	区块 4	7	21	42	70	7
	区块 6	7	21	42	70	7
	其他区域	11	33	66	110	11
	合计	50	150	300	500	50

其中每口生产井根据实际情况需另外配置 2-3 口回灌井。

1) 试点/示范区（2021 年~2022 年）

对开封市地热资源开展全面勘察工作，并在开封市规划区及县辖区重点镇开展浅层地热及中深层地热开发利用试点示范。重点研究包括：①地热流体传热计算及分析；②换热器换热供暖方案设计；③管道的保温；④经济性分析。同步申请国家、省部级、市级财政科研项目，对地热能开发涉及的关键地质、工程技术进行科研攻关，解决关键科学技术难点。地热供暖建设指标如下：

对于新增建筑面积部分，建设 200 万平米地热供暖工程；

通过对原有供热管网改建，以地热能作为第二热源提供 50 万平米供暖需求。

2) 规划区推广（2022 年~2023 年）

根据试点推进情况，在规划区内优先对地源热泵等浅层地热能开发利用技术进行推广，中深层地热利用选择条件较好位置进行。本阶段开展地热开发利用技术与示范研究，推动建设地热能综合利用示范项目，提高资源利用效率，实现可持续开发利用。同时构建“地热+”地热能能源管理系统，在规划区地热项目中进行推广应用。地热供暖建设指标如下：

对于新增建筑面积部分，建设 300 万平方米地热供暖工程；

通过对原有供热管网改建，以地热能作为第二热源提供 150 万平方米供暖需求。

3) 全域推广（2023 年～2025 年）

根据地热能开发利用进展，在开封市辖县/市核心区进行地热开发利用推广。改善分散式小区块开发管理方式，建立以地热换热站为基本单元的大区块管理模式，创建河南省（或全国）地热资源利用示范基地。地热供暖建设指标如下：

对于新增建筑面积部分，建设 400 万平方米地热供暖工程；

通过对原有供热管网改建，以地热能作为第二热源提供 300 万平方米供暖需求。

开封市其他区县建设计划需要结合当地国土空间发展规划、供热规划和产业发展规划合理制订。

地热供暖建筑末端供暖设备依照《地热供热站设计规范》（NB/T10273-2019），结合项目地热条件以及开发商要求合理选择。

4.5 第二热源实施技术方案

原有集中供热热网热源主要为热电联产或锅炉供热，当使用地热能作为第二热源替代时，原有供热管网的改建方案与地热开发技术方案有关：

如采用中深层地热水直接供暖，由于开封市地热水易导致腐蚀结垢，需要建设新的具备防腐防垢能力的地热水一次管网，在换热站换热后接入原有二次管网为用户供暖。

如采用浅层地埋管技术，经热泵提升后热水可直接就近接入二次管网进行供暖。

如使用中深层无干扰技术，即“取热不取水”，在换热后水温参数满足一次换热要求的前提下，可直接使用原有一次管网，温度参数较低时可考虑就近接入二次管网。

5 保障措施

5.1 加强政府统筹协调

加强对地热供暖系统及配套产业建设的总体指导和统筹协调，统一思想认识，形成联动机制，按照“责任共担、信息共享、联动监管”原则，市发展改革委会同有关部门建立地热能开发利用项目的管理和运行监测工作机制，督促有关方面做好地热能供暖项目的运行安全和供热保障相关工作；市自然资源和规划局负责组织开展地热资源调查评价和矿权办理工作；市水利局负责取水许可审批和取用水管理，以及地下水抽取和回灌情况的监管；市生态环境局负责环境影响评价审查审批和水质监测的监督工作；市城管局负责指导城镇供热工作；市财政局负责研究有利于地热能开发利用的财政、金融政策，研究利用现有渠道对地热能项目给予财政支持；住建局负责地热能供暖系统技术推广、技术标准编制和示范项目的推广；

各部门按照“政府推动、部门协同、企业为主”的模式，健全协同机制，理顺地热能供热规划建设和管理中面临的问题并及时解决，确保项目建设一批、核准一批、前期准备一批。强化项目管理，不断完善工作机制和评价考核体系，着力提高项目质量和成效，重视生态环境保护，促进地热能开发利用的高质量发展。

5.2 规范开发管理流程

规范地热能开发利用项目备案或登记管理。发改部门负责对本地区规模化（装机容量 1000 千瓦或供暖面积 1000 平方米以上）供暖项目实施备案管理，规模以下地热供暖项目需登记，已投产运行的项目可直接登记。

简化地热能开发利用项目前期手续。自然资源局及水利局通过数据共享、共同论证等方式，坚持水热匹配确定合理取水量，满足地下水保护与管理政策要求。涉及取水的，应开展水资源论证，向水利部门申领取水许可证。未来结合实际操作经验，优化地热矿业权和取水许可的办理流程、精简审批要件。

5.3 营造良好市场环境

由市发改委牵头，会同财政局、自然资源局、水利局、住建局、城管局、生态环境局等有关部门联合制定开封市地热能供暖管理办法，规范地热开发流程，约束地热开发活动。

5.4 积极探索实施特许经营模式

按照《关于开展地热能清洁供暖规模化利用试点工作的通知》、《关于印发河南省促进地热能供暖的指导意的通知》、《关于进一步做好地热能供暖有关工作的通知》等文件精神，坚持市场化运作，依法择优选定经济实力强、技术含量高、社会责任强的大型专业企业，作为地热开发利用战略合作伙伴，按照统一规划，由市政府授权行业主管部门牵头编制特许经营实施方案，在充分考虑现有供热企业权益情况下，以合理方式进行合作，探索实施地热资源开发特许经营。根据《基础设施和公用事业特许经营管理办法》，依法依规确定特许经营项目单位，组织协调特许经营项目实施及对获得特许经营资格企业的监督管理。对获得特许经营权的企业，在进行审核时，应简化审核内容，优化办理流程，缩短办理时限。

5.5 提高信息管理水平

建设覆盖全区的地热资源管理信息系统，目标实现立体监测、全面覆盖、智能管理、快速响应、决策支持、便捷服务。运用互联网、物联网融合技术，对地热资源勘查、开发利用情况进行系统的监测，及时、准确地掌握全市地热开采量的增减、资源利用水平等动态变化及规划实施情况。及时传送开采量、回灌量、地下水位、温度等数据，对开发过程实行动态监测、动态调整，保障在线监管需要，提高开封市地热能供暖管理信息化、智能化、科学化水平。

5.6 加快推动产业创新

积极探索地热能开采及供暖技术创新。深入研究“十四五”及中长期地热供暖及技术发展趋势，快速提升地源热泵的技术水平，着力提升能源装备制造能力，降低地热取暖设备、建设和运行成本。依托有实力的科研院所、大型国企建立地热开发利用研发中心，加强地热能利用关键技术研发。鼓励有条件的企业重点对地热能资源评价技术、高效率换热（制冷）工质、中高温热泵压缩机、高性能管网材料、尾水回灌和水处理等关键技术进行联合攻关。抓住能源革命机遇，聚焦地热及新兴能源产业，加强扶持引导，扩大市场参与，促进地热供暖系统与其它清洁供暖系统技术和产业融合，形成可推广、可复制的试点经验，扩展地热能发展空间。

6 投资估算和效益分析

6.1 投资估算及经济效益

地质主要包括勘探开发成本估算，包括前期勘查、钻探、完井、泵房等地下部分工程及设备，以万元/m²（供热面积）为单位进行匡算。

根据目前开封市市场情况，中深层地热井钻探、测井成本约 1800 元/m，地面供热工程成本约 120-200 元/m²。浅层地热能利用工程地下部分投资成本按照 0.2712 万元每 kw 供热负荷计算，中深层地热能利用工程地下部分投资成本按照 0.2727 万元每 kw 计算。

根据表 15，规划范围内 2021-2025 年期间新增地热供暖面积 1400 万平方米，新增供热负荷 630MW，总投资约为 49 亿元。地热供暖仅在初期开采阶段投资量大，但在供暖系统中的维护费用、运行费用等都远较传统供暖为少，总体而言经济性更强。按 2021-2025 年共建设 1400 万平米供暖面积计算，地热供暖技术相比燃煤锅炉每年可节约燃料成本 7392 万元，节约运行成本 6944 万元。与市政集中供热、电空调、燃气空调相比，地热水换热系统的初投资与传统换热系统持平，地埋管换热系统的初投资是传统换热系统的 1.4~2.0 倍；地热水和地埋管换热系统的年运行费用是传统换热系统的 0.4~0.6 倍。

6.2 社会效益分析

随着人们生活水平的提高，冬季取暖需求将长期存在。当前，我国北方地区清洁取暖比例低，特别是部分地区冬季大量使用散烧煤，大气污染物排放量大，迫切需要推进清洁取暖，这关系到北方地区居民温暖过冬，关系雾霾天能否减少，是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。

地热是一种清洁高效的清洁能源，使用地热能供暖，可以节能减排。

燃煤和地热取暖均有污染物排放，但排放环节和排放量不同，燃煤取暖污染物排放发生在取暖过程；地热取暖污染物排放发生在取暖前的电力生产过程。

以普通燃煤锅炉为基准，传统燃煤工业锅炉以层燃式链条炉为主，烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放分别为 50mg/m³、300mg/m³、300mg/m³（锅炉大气污染物排放标准 GB13271），能效按照 60%计算，煤价按照 540 元吨计算。地热供暖方面以水源热泵进

行计算。消耗的电能按来自超低排放的燃煤发电，其烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放分别为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。按照 COP 值（制热量与输入能量比值）为 5 计算，电价按照 0.5 元/kWh 计算。则传统燃煤锅炉和地热供暖两种技术的对比情况如下表所示。

表 16 不同集中供暖方式全过程技术经济指标

（资料来源：煤炭科学研究总院、平安证券研究所）

指标	传统燃煤锅炉	地热供暖	采用地热供暖后每年每 m^2 减少排放/降低成本
烟尘 ($\text{g}/(\text{年 } \text{m}^2)$)	0.85	0.35	0.5
二氧化硫 ($\text{g}/(\text{年 } \text{m}^2)$)	5.95	2.47	3.48
氮氧化物 ($\text{g}/(\text{年 } \text{m}^2)$)	8.50	3.52	4.98
碳排放 ($\text{kg}/(\text{年 } \text{m}^2)$)	35.50	15.19	20.31
燃料成本 (元/ $\text{年 } \text{m}^2$)	13.12	7.84	5.28
运行成本 (元/ $\text{年 } \text{m}^2$)	17.79	12.83	4.96

按 2021-2025 年共建设 1400 万平米供暖面积计算，地热供暖技术相比燃煤锅炉每年可实现碳减排 28.43 万吨。此外，开展地热供暖工程建设，可有效带动相关产业发展，提供大量就业机会。除项目自身直接投资外，将带动管网配套建设、运维管理等延伸产业的发展，其中设备制造、工程施工、运维管理等环节可提供更多就业机会。

7 环境影响分析

7.1 环境影响因素分析

(1) 对大气的污染

地热开发过程中，对大气环境影响较大的有 H_2S 、 CO_2 、 CH_4 等不凝气体。 H_2S 气体对人体危害很大，根据含量高低的不同，可以造成人的窒息死亡或麻痹人的嗅觉神经，对人类危害较大，但因具有臭鸡蛋味，而易于觉察，一般在室外通风条件好的情况下，不易造成事故。

调查表明，规划范围内地热水通常不含 H_2S 或含量极低，对大气影响极小。寒武-奥陶系热储地热水是否含有有害气体不详，开发时应引起注意。

(2) 热水有害组分污染

地热尾水化学成分较为特殊，根据《地面水环境质量标准》(GB3838—2002) 第三类及《中华人民共和国工业三废排放标准》(GBJ4)，地热尾水主要超标项目为氟化物，最大超标倍数为 1 倍，需处理排放，特别是新近系馆陶组地热尾水。如未经处理长期排放，会对地表水、地下水、土壤及农作物、水产养殖造成一定影响。

(3) 对环境的热污染

地热水具有较高的温度，区内大部分地热为直接利用，利用率较低，弃水温度较高，地热尾水中热量的释放，会使局部地区的空气和水体温度升高，造成周围生态环境不同程度的热污染。对农作物生长及水生生物产生有害影响，排入温度较高尾水的下水道等排污管道，会成为蚊、蝇、虫的聚居地，造成各种微生物的大量繁殖，改变附近居民生存环境质量，危害健康。

(4) 放射性元素污染

放射性污染地热水中都不同程度的含有氡 (^{222}Rn)、镭 (^{226}Ra)、铀 (^{235}U 、 ^{238}U)、和钍 (^{232}Th) 等放射性，其衰变释放的产物中有伽玛射线，据有关资料，氡对人体的危害是过量的氡进入人体的呼吸系统造成辐射损伤，诱发肺癌；过量的镭可能导致骨癌和鼻癌。

据不完全调查统计，区内地热水中，镭及氡含量小，不致危害人体健康，从地热医疗角度分析，微量放射性元素对人体洗浴和浴疗有一定好处。

(5) 地面沉降评价

地热水形成周期长，补给缓慢，当开采量超过补给量时，就会产生水压下降，引起黏性土和含水砂层的压密，从而导致地面沉降。目前我省郑州及开封市区，由于长期超量对地热水的开采，均发生了不同程度的地面沉降。规划区新生界最大沉积厚度 1800m 左右，黏性土厚度大，今后如无序、超量开采有导致地面沉降发生的可能，在开采的过程中，应进行地面沉降观测，进行阶段性评价和防范。

7.2 监督和管理方案建议

(1) 系统评价，科学开发，资源先行，按量供给

规划区内地热评价报告中的相关参数多依托于单井试验数据，部分参数为区域地质经验值，对于开发来说这些数据的可信度、特别是回灌数据可信度还远远不够，建议进行更详细的地热资源勘查工作，提高研究程度，加大科研力度，实施科研跟踪地热资源勘探开发与利用始终离不开科学研究，地热资源勘查开发利用的每一个环节都会产生很多问题，这就需要有严谨的科学方案来实施解决。综合系统要对地热产业链进行跟踪研究，不断吸收国内外先进的地热资源发展技术，避免盲目的勘探开发引起能源的浪费和地热产业链的脱节，以保障地热资源开发与环境平稳、有序、协调的发展。

开封市地热资源大体处于“静储量”状态，补给缓慢。因此，对地热流体的开采基本属于疏干性开采，当适量开采时不致产生严重后果，但不合理的井群布局和过量开采，将导致地热资源衰减，甚至造成地热资源枯竭。地热资源开发必须实行总量控制，综合利用，梯级开发，提高地热资源利用技术和水平，并建立区域资源开发监督监测系统，开展动态预测预报。

(2) 政府主导，加强监管，出台行业标准，加强过程监管

在规划的基础上，出台地热能开发利用行业标准，控制开采强度、提高利用效率、确保同深、同层、百分百、无污染、可持续回灌。对井的平面距离、深度等要做相关规定。利用效率方面，要至少两级利用，回水温度不高于 20℃。加强地热能开发利用全过程监管，在项目论证、建设、运行阶段，加强行业监管，确保地下水资源不被污染。

(3) 建立地热资源动态监测系统

目前规划区尚未建立动态监测网络，对地热动态特征缺乏了解，缺少相应科学的监测监管办法。尚未建立全市地热监管信息平台，地热井普遍未安装自动水位仪，相关水位测量数据、开采量、回灌量及温度、水位等数据无法及时录入和即时上传，人工水位

监测制度也未建立。

邀请专业技术单位加强合作，建立地热资源开发利用的动态监测系统，加强对开发利用的管理。监测项目包括水位、水质、水量、水温、井口压力、地热流压力、自然补给、化学成分及地面沉降等方面，并在地热资源开发利用过程中进一步建立区域地热系统，对已建立的地热资源概念模型、开发管理模型进行分析、验证和改进，实时调整地热资源开发利用计划，对地热资源开发利用过程中出现的环境地质问题及时做出对策，为地热资源进一步评价、地热资源开发管理的研究及与地热田开发有关的环境地质问题的研究提供基础资料依据。

8 风险及对策分析

8.1 资源风险

开封市处在黄河冲积平原区，地热资源丰富，地质构造较为稳定，根据前面地热地质资源量及可采资源量估算，地热资源风险较小。目前规划中建议开发热储层为新生界馆陶系热储层，该热储层为沉积性热储，各资源分区内地热流体赋存情况相对比较稳定。但是规划区内整体勘查精度不高，尉氏县、通许县、兰考县及祥符区等地的地热资源勘查工作范围未覆盖全区，杞县未进行地热勘查工作，在计算相关县区资源量的过程中，均不同程度的存在利用报告参数外推资源量的情况；且各个区域中借鉴了不同单位的勘查资料，其地热资源的计算方法、参数选取等诸多因素的不同造成计算结果拥有一定的偏差；同时目前勘查工作精度有限，尚存在未查明构造，构造发育会引起地热地质条件的误差，导致地热资源的大幅变化。这些因素的存在不可避免的影响了地热资源计算数据的准确性。

应对措施：由于区内构造复杂，实际开发地层深度、富水性、地热流体质量、回灌量等参数可能与预测值存在一定误差，实际开发前，应对场地进行更系统的勘查工作。

8.2 回灌风险

开封地区砂岩热储地层属于河湖相沉积，非均质性强，地层未固结，成岩差，粘土矿物含量高、地热流体矿化度高等因素的存在容易造成地热井堵塞，堵塞的类型主要有：物理堵塞、化学沉淀堵塞、微生物堵塞。地热回灌井由于回灌系统的堵塞，回灌能力会逐渐降低，甚至有的回灌井无法回灌，影响地热资源的开发利用。

应对措施：在推进回灌开发进程中，应作好以下方面的工作：

- ①严格按规划审批地热项目，坚决执行“以灌定采”制度；
- ②加强回灌技术研究，鼓励使用回灌新技术、新方法、新工艺，为取得回灌的实效性提供技术支持；
- ③对规划区内奥陶系岩溶型热储进行系统勘查开发，对该热储层的进行资源评价、开发利用可行性评价、回灌试验研究和效益分析，作为潜在开发
- ④依法对回灌运行情况进行严格监管，确保回灌实效性。

8.3 地质灾害风险

开封市地热资源大体处于“静储量”状态，补给缓慢。因此，对地热流体的开采基本属于疏干性开采，当适量开采时不致产生严重后果，但不合理的井群布局和过量开采，将导致地热资源衰减，甚至造成地热资源枯竭。

没有回灌的无序开采地下水，几乎从任何热储层抽取地热利用提取都可能导致可检测的地面沉降。国内外由于开采地热流体而导致地面沉降的实例并不鲜见。地面沉降在省内也不乏其例，据开封市有关资料显示，曾形成 100km^2 左右的“水位下降复合漏斗”，导致区域性地面沉降，总沉降量超过 20mm ，最大沉降量 24.2mm 。许昌市、洛阳市也有类似情况。

地面沉降是一种缓变型的地质灾害，其形成机理一般认为是由于长期开采破坏了原有的水力平衡，使原先饱和的含水层疏干压密，从而减弱了对覆岩的顶托力；另一方面粘土类土大量疏水压密则进一步加剧了地面沉降，而粘性土层的释水压密特征与含水砂层的释水压密特征不同，属不可逆变形，它是产生地面沉降最主要原因。

应对措施：地热资源开发必须实行总量控制，综合利用，梯级开发，提高地热资源利用技术和水平，并建立区域资源开发监督监测系统，开展动态预测预报。

积极推行地热尾水的回灌，树立地热回灌是地热开发的第一前提的观点，并实行“以灌定采”硬性措施，在回灌效果较差的情况下，则应严格限定地热流体开采量。

9 远景展望

9.1 产业体系建设

通过建设开封市地热供暖工程，可以引进一批地热供暖相关制造产业，探索适合周边城市地热能发展及清洁供暖的模式。

(1) 地热能勘查产业

地热勘查评价是地热产业最基础的工作，主要是指通过地质调查、地球物理勘探、地球化学勘探、地热钻探和动态监测方法来探明地热能的分布、资源量、品质、开发利用条件等各种地质条件和水文地质条件。

地热能的发展需要以大量详实的勘查资料为基础，需开展大量打井工作。开封市虽完成市域地热能普查，随着供暖工程逐步建设，后续仍需要进行进一步详勘，可引进地热井、地热勘查相关产业，为后续地热能供暖工程、地热能综合利用及其它产业提供支撑，远期可辐射周边地市，带动区域地热能发展。

(2) 地热能装备制造基地

地热设备制造是指以地源热泵系统为代表，包括热泵机组、地暖管、地热板等在内的一系列工程设备制造。近几年，世界范围内地源热泵生产企业数量不断增加，但以中、小企业居多。

开封市可通过规模效应吸引地源热泵整机厂家入驻，带动地热能工程同步建设。并逐步引进上下游供应链企业，促进形成以大企业为核心、相关配套企业聚集发展的新能源产业集群，在 2025 年逐步完成产业链。远期可通过加大关键设备和技术的研发投入，提高热泵和换热器等关键设备的技术水平，通过并购重组打造品牌、做强做大。

另外，开封市地热资源丰富，到 2025 年底预计将建成大规模地热供暖工程，地热供暖工程运营期在 30 年以上，每年均须开展运行维护，运维潜在市场空间巨大。可支撑打造立足开封市，辐射周边县市的地热能运维基地。

(3) 地热能综合开发产业

对于中低温地热资源，地热资源综合利用主要围绕地热供暖为主题，在供暖的同时满足生活热水及其他生产用热的要求。另外根据热水的温度和开采情况，在资源富余的状态或不需供暖的时段，地热能可以有不同的利用方式，如温泉、理疗、旅游、养殖、种植等。目前我国地热能利用在这些方面均达到一定规模，初步形成了具有我国特色的

地热产业。

在地热产业发展过程中，地源热泵、温泉洗浴旅游等地热资源直接利用方式市场化、商业化程度最大；地热温室种植、养殖的规模逐年增长，技术水平也不断提高。目前我国已形成以东南沿海和中部为代表的疗养与旅游、以华北平原为代表的种植和养殖的开发利用格局。

开封市可根据地热资源分布及地热温度分级确定地热能综合利用方式，通过一定的政策支持及规模效应，可建立起相应的产业，为城市带来经济效益。远期，在地热综合产业形成一定规模后，可通过统筹地下地上空间规划建设，建设分布式、互补型的大型浅层地热能开发利用供暖系统，形成集群化利用示范区，一方面满足开封市供暖需要，另一方面带动当地产业发展，助力绿色低碳城市建设，并可逐步向周边县市推广。

（4）科技研发与人才培养

地热能利用技术仍有较大的发展空间，在建立一定规模的地热能工程同时，可借助科研院所平台进行培养地热能专业人才及地热能科技研发，以创新动力保证开封市地热能产业高速发展。

地热人才培养体系的建立和研究机构的发展为产业的发展提供了人力资源保障。随着市场对各类地热人才需求的不断增长，可通过不断加强高校教育平台和专业研究机构对人才的培养，通过产学研机制将学术研究成果与商业开发项目相对接。

长期来看，开封市可围绕地热能开发利用产业链，建立人才培养和服务体系，参与相关标准编制，加强地热能利用设备的检测和认证，建立地热能产业和开发利用信息监测体系，完善地热资源和利用的信息统计，加大地热能利用相关人才培养力度，积极推进地热能利用的国际合作。

（5）地热发电产业

地热发电在未来有较大的发展空间，与风电、光伏相比，地热发电不受天气、季节影响，电力可稳定供应，同时单位装机容量占地面积相当少，在合理回灌的前提下，基本可做到零排放。且相对供热，地热发电四季需求稳定，利用形式更广泛。但同时地热发电对资源要求较高，在目前技术条件下，温度在 90℃ 及以下的地热水发电经济效益不佳。

一方面，随着未来开封市地热资源勘测及开发，可能发现更优质地热资源；另一方面，随着技术进步，地热发电对资源的要求也会逐渐放宽。因此，在远期一旦具备合适

的开发条件，开封市可根据本地资源及产业优势引进地热发电产业，进行规模化的地热发电项目开发。

9.2 清洁能源综合利用

本工程初期目标为保障供暖，进而替代部分化石能源。根据目前资源状况测算以及城市建设情况判断，地热能无法覆盖全部市域尤其农村地区。在地热能开发体系形成规模后，可因地制宜建设一定规模的其它清洁能源及储能装置，以覆盖无法利用地热能供暖的地区，实现能源的综合利用。

根据因地制宜的原则，结合开封市资源判断，远期可通过建设一定规模的生物质供暖、太阳能供暖，弥补地热供暖不能覆盖的区域。

(1) 生物质供暖

生物质能供暖具有布局灵活、适应性强的特点，适宜就近收集原料、就地加工转换、就近消费、分布式开发利用，可用于资源丰富地区的县城及农村取暖，在用户侧直接实现煤炭替代。

河南省为农业大省，开封市是全国主要的小麦、玉米、花生、大蒜、西瓜及泡桐的种植和出口基地，农作物秸秆及农产品加工剩余物等生物质资源丰富，发展生物质能供热具有较好的资源条件，近年来已建设一定规模的生物质供暖，但仍处于不完善的阶段。

为有效治理农村散煤污染，以及为新型城镇化建设提供清洁供热，应加大支持力度，加快生物质能供热产业化发展，形成清洁供热能力，在县域规模化替代燃煤供热。

(2) 太阳能供暖

太阳能供热采暖是可再生能源利用的重要领域，技术成熟，经济性较好，已广泛应用于生活及工业热水供应，为推进清洁供暖、改善大气环境质量发挥了积极作用。在资源丰富地区，太阳能适合与其他能源结合，实现热水、供暖复合系统的应用。

开封市太阳能总辐射量在 4600~5000MJ/m² 之间，属太阳能丰富区，根据国家能源局在 2021 年 1 月提出的《关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》，可在有供暖需求的民用建筑优先使用太阳能供暖系统；在小城镇和农村地区使用户用太阳能供暖系统；在农业大棚、养殖等用热需求大且与太阳能特性相匹配的行业充分利用太阳能供暖；在集中供暖网未覆盖、有冷热双供需求的地区试点使用太阳能热水、供暖和制冷三联供系统；采用太阳能供暖与其他供暖方式相结合的互补供暖系统。

通过建设一定比例的蓄热设施，可保证夜间时段的供暖需求。通过太阳能供暖设施的普及，可有效弥补地热资源较差区域的供暖问题。

另外，地热系统从地下取水，需消耗一定电能，增加城市用电负荷，可利用现有清洁能源系统或新建风电、光伏、储能系统为地热能供暖系统供电，实现多能互补利用。

9.3 智慧化展望

开封地区构建以大数据、物联网、移动互联网技术等为支撑的大型开放式地热能源管理系统，采用分层分区的形式，依托云数据中心，汇集并智能分析处理地热能源的生产、输送、消费等各类信息，监控和管理整个地热能源系统。地热能源管理系统应以清洁、经济、高效为目标，通过实时监控和预测，统筹地热能源的优化配置方案。

系统应以用户为中心，充分满足用户的用能及服务需求，依托移动互联网，为能源供应服务商和用户之间创造双向互动平台。为用户提供用能建议、APP 查询等人性化服务，引导用户主动地参与到地热能源管理中，为享受经济、优质、舒适的能源服务创造条件。

建设片区统一地热能源管理平台，实现区域地热能源系统的运营管理、信息展示、智能互动和决策支持。结合区域地热能源站、街区地热能源站、用户地热能源站等建立相应级别能源管理子系统，实现地热能源站管控片区内各能源间的耦合优化与良好互动。并从环境污染排放控制、系统经济能效评估、装置全寿命周期管理、用户需求侧调控、管道损耗及故障定位等多个方面实现提升区域地热能源系统的运行效能。

(1) 能源监测及调控

对地热能生产、消费、传输、储存各个环节的计量点的关键参数进行监测、报警及可视化展示。利用大数据分析等技术手段，对能源供需容量、产能及用能态势、用户用能行为等进行全局统筹分析及预测，为能源优化调度、用户能源节约等提供支撑。建立地热监测平台，加强对地热水回灌水质和回灌量的实时、有效监测，同时监测区域内中深层地下水水位、温度和压力等数据。

地热能源管理系统在各类能源监测、分析、预测数据的基础上，通过多时间尺度调度，逐级消除预测的误差，提高系统经济性及稳定性，通过对地热能源系统在多元复杂运行场景下、不同运行调控策略下的统一仿真推演与验证，保障能源系统安全高效运行和经济效益最大化。

(2) 能源设备管理

实现对能源设备管理的信息支持，建立关键能源设备信息库（包括设备档案、设备故障处理方案信息档案、点检定修信息档案、设备异常应急预案等），具备应急预案的授权维护功能，实现设备事故台账维护管理。同时建立设备运行参数统计台账和能源设备备品备件台账，具备授权的及时维护功能。

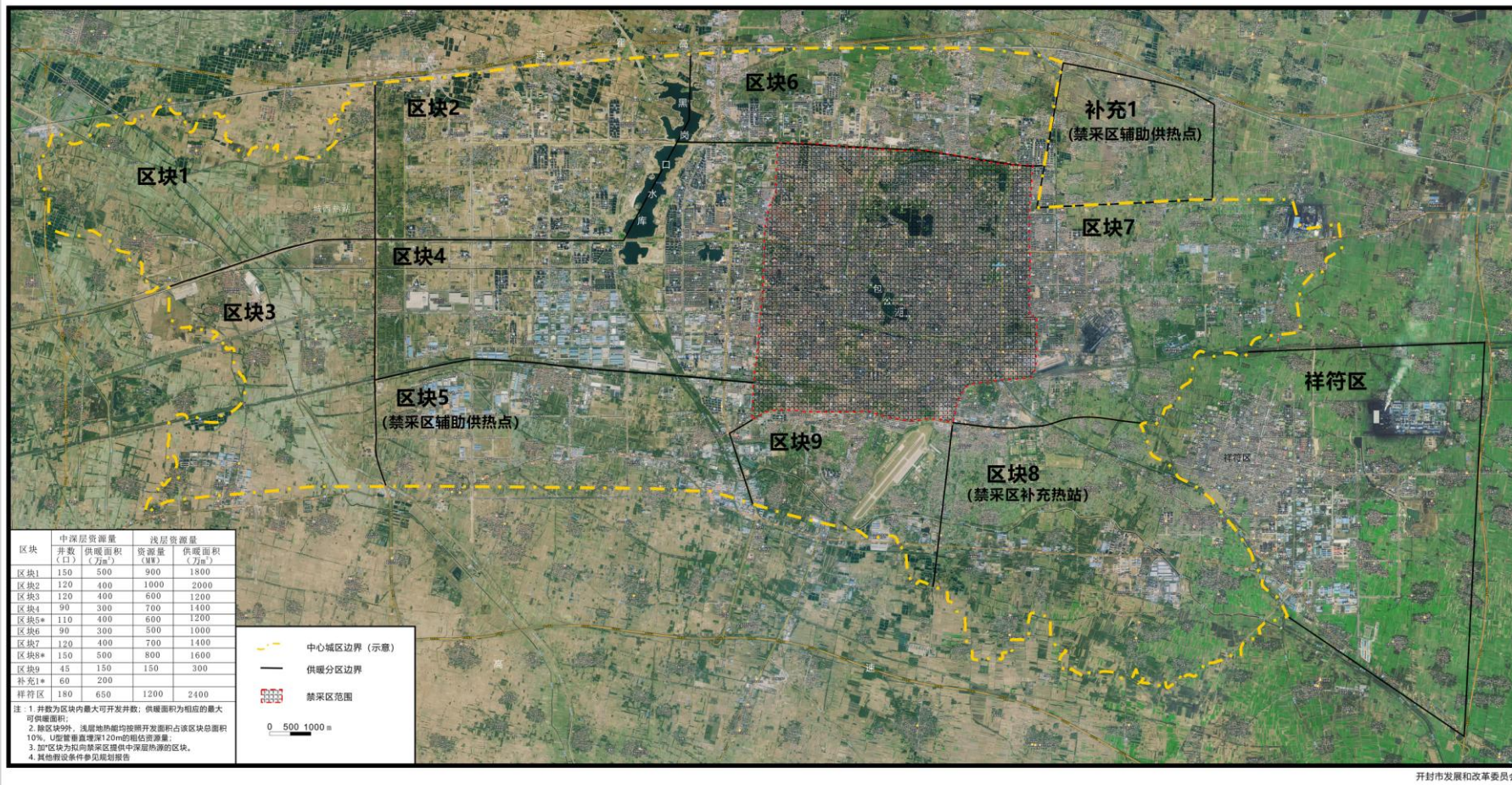
（3） 能源模拟交易

基于能源在线监测实现能源供应与消费的实时跟踪和预测，进行区域能源交易市场的仿真模拟，为“互联网+”智慧能源市场下的能源交易提供决策支持。包括用户管理、消费预测、交易管理、结算管理、合同管理、信息发布、交易计划等模拟功能，利用大数据分析技术进行交易服务的效益评估，实现交易的组织与全流程管理。

（4） 辅助政府宏观分析及政策制定

通过汇集大量用能企业及居民用户的用能数据，帮助政府更好地掌握企业用能情况，明确区域能耗实际水平，预测能源发展趋势，支撑政府开展区域性宏观经济分析，制定适合开封地区的相关政策。

开封市中心城区地热资源开发规划图 (2021-2025)



附图 1 开封市中心城区地热资源开发规划图



附图2 开封市金盛热力有限公司管网平面图