

关中盆地某地热开发区块地热地质特征及开发现状

董洁¹, 陈创¹, 张鑫鑫¹, 李秀娟²

1. 陕西工程勘察研究院有限公司, 陕西 西安 710068

2. 中国地质工程集团有限公司, 北京 100093

DOI: 10.61369/SSSD.2026060030

摘 要 : 关中盆地具备良好的热源背景和存储空间, 拥有丰富的地热资源。以关中盆地内一处地热开发区块为研究对象, 在综合分析其区域地质、钻探成果及开采期内动态观测资料的基础上, 基本掌握该处地热地质特征及开发利用现状及存在问题。结果表明: 第四系作为良好的盖层, 地热水赋存于新近系和古近系的砂岩、砂砾岩中; 在深部热传导作用下沿断裂构造, 地热水随深度增加温度不断升高, 地温梯度达 $4.70^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 在开采过程中, 该区块中地下水位以 $3.39\text{m}/\text{a}$ 的速率不断降低, 水化学类型仍为 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型; 为了实现地热资源的可持续发展, 建议完善节水设施、完成回灌井施工、实施动态监测(水位、水温、水量、水质), 降低对地热开发区块周边环境的影响。

关 键 词 : 关中盆地; 地热开发区块; 地热地质特征; 地温梯度; 开发现状;

Geothermal Geological Characteristics and Current Situation of A Geothermal Development Zone in the Guanzhong Basin

Dong Jie¹, Chen Chuang¹, Zhang Xinxin¹, Li Xiujuan²

1. Shaanxi Institute of Engineering Prospecting Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710068

2. China GEO-Engineering Corporation, Beijing 100093

Abstract : There is a good heat source background and storage space in the Guanzhong Basin. And it has abundant geothermal resources. It takes a geothermal development zone in the Guanzhong basin as the research object. On the basis of comprehensive analysis of its regional geology, drilling results and dynamic observation data during the mining period, basically grasps the geothermal geological characteristics, current situation and existing problems. The results show that: The Quaternary strata serve as a good cover plate. Geothermal water occurs in sandstone and sandy conglomerate of Neogene and Paleogene. Under the action of deep heat conduction, the temperature of geothermal water increase of depth along the fault structure. And the geothermal gradient reaches $4.70^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. In the process of mining, the groundwater level in the zone is decreasing at a rate $3.39\text{m}/\text{a}$. And the hydrochemical type is $\text{Cl}-\text{Na}$ type. In order to realize the sustainable development of geothermal resources, it is suggested to improve water-saving facilities, complete the construction of recharge wells and implement dynamic monitoring (water level, water temperature, water quantity and water quality) to reduce the impact on the surrounding environment of the geothermal development zone.

Keywords : the Guanzhong Basin; a geothermal development zone; geothermal geological characteristics; geothermal gradient; current situation;

地热资源是一种珍贵的综合性矿产资源, 它既可以利用岩石与地热流体中的热能, 同时也可以利用其含有多种矿物质组份的特点将其应用于温泉洗浴、医疗保健等领域^[1]。中国地热资源受地质构造、岩浆活动、地层岩性、水文地质条件等多因素的综合控制, 形成了总体分布不均的特点^[2]。杨丛宁^[3]以辽宁省地热资源为例, 简述了该地地热地质条件, 在此基础上对地热资源量级开发利用潜力评价进行了系统地分析与归纳。孙明行等人^[4]对广西壳幔圈层结构、地温场特征、地热资源分布规律系统分析后, 采用不同的估算方法, 对广西地热资源开发利用潜力进行了系统地评价。王晓飞等人^[5]以河南省嵩县范坡地热田为研究对象, 利用三处温泉与1处地热井地质资料, 对该地热田地热资源赋存特征及储量进行了计算。唐永香等人^[6]总结了天津滨海地热田深部地热赋存规律, 建立了深部地热资源概念模型。王守家^[7]对营口熊岳镇进行地球物理勘探及测井作业后, 系统阐述了该地热田的热源深度、温度分布和地热水的循环模式。高新民^[8]指出, 陕西省地热资源总体开发利用相较于全国比较滞后; 同时, 彭冰等人^[9]指出, 陕西省地热资源呈现较大的地域性差异, 但其浅层和中深层水热型地热资源开发利用主要集中在关中盆地。

关中盆地内地热资源的研究从大致可分为三个阶段, 初步普查—西安、咸阳、宝鸡地热调查—地热资源调查评价^[10]。周阳等人^[11]

作者简介: 董洁(1994—), 女, 汉族, 硕士学位, 中级工程师, 主要从事水文地质、环境地质研究工作。

利用热物性参数和地温梯度值, 计算了盆地内大地热流值, 分析得出盆地内地热资源开发潜力巨大。黄建军等人^[12]在分析了西安凹陷区地温场及地温梯度特征的同时, 利用体积法计算了西安凹陷区地热流体的总体积储量、总弹性储量和总储量。梁成成^[13]以眉县城区地热田为例, 在分析区域地质、水文地质、地热地质条件的基础上, 通过水热耦合模型对地热资源开采时采灌井的间距及效果进行了预测。由此可见, 现阶段地热资源研究集中在地热资源储量及开发潜力评价等方面, 缺少单点式、长期性地探索地热开发利用及影响。

本文以关中盆地某地热开发区块为例, 结合区域地质资料及钻探成果资料, 利用该地热区块开采期内各项数据, 分析总结该地热区块地热地质特征及开发利用现状, 旨在合理科学、规范有序地开采地热资源, 达到资源的可持续发展。

一、地质概况

(一) 自然地理

地热开发区块位于西咸新区秦汉新城渭城街道坡刘村, G70福银高速自矿区西侧通过, 西安咸阳国际机场位于研究区附近, 秦直大道自区块东侧通过, 234县道自区块北侧通过, 交通极为便利。

地热开发区块所处地貌类型为河流冲积平原, 由北部黄土台塬至渭河, 地势呈阶梯状降低, 高程介于370~480m之间。地貌主要有黄土塬与河谷阶地, 河谷阶地又可分为渭河三级阶地、二级阶地、一级阶地及漫滩。

地热开发区块气候属暖温带半湿润季风气候, 气候温和, 年平均温度9.0~13.2℃, 年极端最低温度-18.6℃, 年极端最高气温41.2℃; 年平均降水量537~650mm。

(二) 区域地质

地热开发区块主要揭露地层有第四系中上更新统一全新统秦川群(Qp-Qh)、第四系下更新统三门组(Qp₁s)、新近系上新统张家坡组(N₂z)、蓝田-霸河组(N₂l+b)、中新统冷水沟组—寇家村组(N₁l+k)、古近系渐新统(E₃)。

从区域地质构造来看, 地热开发区块位于西安凹陷和咸礼凸起两大构造单元的结合部位(图1)。西安凹陷位于渭河断裂(F₃)以南, 秦岭北侧断裂(F₁)以北, 哑柏断裂(F₁₀)以东, 经强烈下陷形成, 据石油钻探资料, 凹陷最深部位新生界厚度近7000m, 第四系厚度达1000m; 咸礼凸起位于关中盆地西北部, 西部以陇县-岐山-哑柏断裂(F₁₀)与宝鸡凸起相隔, 东部以泾河断裂(F₁₁)为界与固原凹陷为界, 南部以渭河断裂(F₃)与西安凹陷相邻。

(三) 水文地质

根据揭露的地层岩性、地下水的埋藏赋存条件, 地热开发区块含水层为冲积(冲湖积)含水岩组, 含水层主要为砂岩、砂砾岩与泥岩互层, 孔隙裂隙发育, 单井涌水量为100~120m³/h, 矿化度为4.89g/L, pH为7.97。

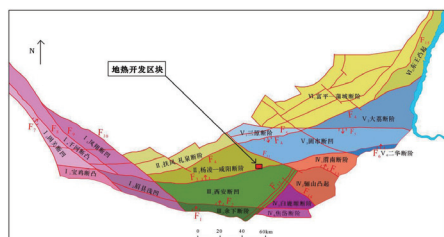


图1 渭河盆地构造分区图

二、地热地质特征

(一) 热源

地热开发区块的主要热源来源于地球内部放射性元素如²³⁸U、²³²Th、⁴⁰K等衰变产生的热量。地热内部热能通过地壳各种岩层以热传导的形式释放, 一般地表常温层(距地面约15m)以下约15km范围内, 地温随深度增加而增高。地热平均增温率约为3℃/100m。

(二) 构造通道

地热开发区块所处构造单元断裂发育, 为水热较缓、循环及运移提供了通道, 导通了热储中流体与地壳深部热力联系。区块位于渭河断裂(F₃)以北3km, 该断裂具有长期性、复活行及产状和性质的多边性, 错切深度大, 后继影响到第四系, 成为区块内沟通深部热源的主要通道。

(三) 盖层

地热开发区块内第四系中上更新统一全新统秦川群、第四系下更新统三门组导热率低、扩散率偏低, 且在区域内厚度较大且分布相对稳定, 保温效果较好, 能够作为良好的保温层, 使得下部热储层热储性能相对稳定。

(四) 热储层

地热开发区块位于咸礼凸起与西安凹陷交界处, 开发利用热储类型为新生界孔隙性热储。区内新生界沉积厚度较大, 岩性主要为砂岩、砂砾岩与泥岩互层, 孔隙裂隙发育, 为地热流体提供了良好的储存空间与运移通道^[14]。

地热开发区块的热储层有新近系和古近系, 其中新近系各热储层砂岩总厚度为565.9m, 砂厚比为7.3%~40.12%。砂岩孔隙度8.33~35.58%, 渗透率8.52~1040.28mD; 热储层井温为46.3℃~135.88℃。古近系热储层砂岩厚8.2m, 砂厚比32.8%, 热储层孔隙度22.60~22.78%, 渗透率136.54~136.7mD; 热储层顶板温度135.88℃, 底板温度136.57℃。

(五) 地温场特征

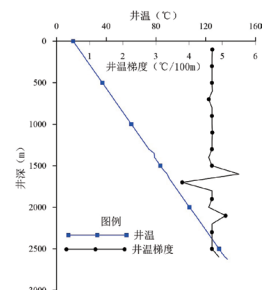


图2 地热开发区块地温、地温梯度垂向直线图

地温梯度是地温和深度的函数, 反映地温随深度变化特征,

不同地区同一深度地温梯度的差异反映彼此地温场的热状态，同一地区不同深度地温梯度则反映垂向地温变化，即随深度增加地温增加的速率，是辨别一个地区是否地热异常的主要指标。其表达式为：

$$\frac{dT}{dz} = \frac{T-T_0}{H-H_0} \times 100 \quad (\text{公式1})^{[15]}$$

式中：

$\frac{dT}{dz}$ —地温梯度平均值（℃ /100m）

T—计算深度 H 处地温（℃）；

H—计算段深度（m）；

T₀—恒温层温度（℃），取值为 15℃；

H₀—恒温层埋深（m），取值为 20m。

结合地热区块测温曲线可知（图 2），地热井底部 2625m 处井温为 137.52℃，根据地热井每百米的井温梯度计算结果，该地热井地温梯度平均值为 4.70℃ /100m，属于地热异常。

三、地热开发利用现状

（一）地热开发利用现状

地热开发区块 2021 年到 2024 年涌水量介于 1.1073 ~ 1.8137×10⁴m³，主要用于建筑楼的供暖及人员的洗浴用水（表 1）。地热水经热水管道提升注入蓄水池，经输送管道输送进入热交换站通过板式热交换器放热。采暖循环回水经采暖循环泵输送至换热器提取热量后，输送至建筑楼供热；供热后的尾水排入人工湖，随后接入市政污水管道。洗浴采用循环供水系统，主要为人员洗浴提供地热水；地热水经管道提升注入蓄水池，混合一定量的自来水，水温达到洗浴要求后由热水泵供给宿舍楼员工洗浴用水。洗浴后的尾水经污水处理站处理后排入市政污水管道。

表 1 地热区块 2021 年 ~ 2024 年量统计表

年份	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	平均
用水量 /（*10 ⁴ m ³ ）	1.6863	1.6959	1.8137	1.1073	1.5758

根据地热区块自地热井建成（2021 年）后地下水位埋深动态观测资料（表 2）可知，该区块水位埋深由成井时 5m 到 2025 年 9 月下降至 52.5m，水位下降了 47.5m，年平均下降速率为 3.39m/a，水位下降幅度较大。由此可见，该地热开发区块内地热资源明显减少，动态监测地热资源的水位、水量等变化规律对实现地热

资源可持续开发利用具有重要意义。

表 2 地热区块水位埋深动态观测资料统计表（2011 年 ~ 2025 年）

时间	2011.5	2012.5	2013.5	2014.5	2015.5	2016.5	2017.5	2018.5
水位深 /m	5	9.5	15.2	21.5	26.2	31.6	35.1	38.3
时间	2019.5	2020.5	2021.5	2022.5	2023.5	2024.5	2025.5	
水位深 /m	42.2	46.4	47.6	48.8	50.4	51.3	52.5	

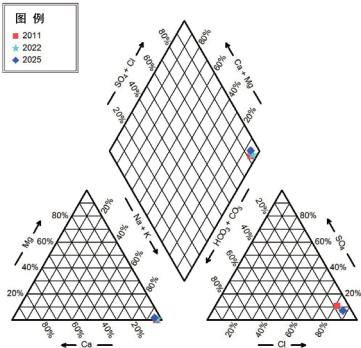


图 3 地热开发区块地热水 Piper 三线图（2021、2022、2025 年

由 Piper 离子三线图（图 3）显示，虽地热水中离子浓度有小幅变化，但其水化学类型没有变化，为 Cl—Na 型水，矿化度均大于 4g/L，属于咸水，三次均达到命名矿水浓度的有氟、硼元素。由此可见，在地热区块开采地热资源的过程中，水—岩作用的不断进行，地下水化学成分存在着细微的变化，在后续开发利用过程中，应注意地热资源的水质变化。

（二）开发利用建议

（1）地热资源是一种珍贵的资源，在开发利用过程中应本着可持续发展的理念，尽快完成区块内回灌井的施工，落实“以灌定采”“采灌结合”“同层等量回灌”的原则，以有效地回补热能损耗，减缓水位埋深下降速率，延长地热水井寿命。

（2）建立健全节水、节能措施，完善相关节水设施，珍惜地热资源，为防止在输水管道中发生跑、滴、漏，避免地热资源的浪费，应采用一些耐高温、耐腐蚀的特种产品。

（3）建立并加强地热井动态监测工作，以掌握地热流体开采量与水位、水温和水质的动态变化规律，以便及时调整或制定地热资源开发和环境保护对策，减少地热资源的浪费，达到高效利用、节能减排的目的，同时降低对地热区块周边环境的影响。

参考文献

[1] 韩晓旭. 关中盆地地热资源可持续开发利用法律对策研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2012.

[2] 王贵玲, 张薇, 梁继运, 等. 中国地热资源潜力评价 [J]. 地球学报, 2017, 38(04):449-450+134+451-459.

[3] 杨丛宁. 辽宁省地热资源潜力评价 [D]. 辽宁师范大学, 2019.

[4] 孙明行, 王瑞湖, 梁礼革, 等. 广西地热资源特征与潜力评价 [J]. 中国地质, 2023, 50(05):1387-1398.

[5] 王晓飞, 于芳, 李尧. 河南省嵩县饭坡地田资源赋存特征研究 [J]. 能源与环境, 2023, (03):48-50+62.

[6] 唐永香, 林建旺, 李娜娜, 等. 天津滨海地热田北部深部地热资源赋存规律 [J]. 华北地质, 2024, 47(01):77-84.DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.01.07.

[7] 王守家. 熊岳温泉地热田成因机制探究 [J]. 水利技术监督, 2025, (01):215-218.

[8] 高新民, 杨甫. 陕西省地热资源开发现状 & 对策 [J]. 陕西煤炭, 2020, 39(04):1-5+26.

[9] 彭冰, 郭伟龙, 郝皓施, 等. 对陕西省地热资源开发的几点建议 [J]. 中国国土资源经济, 2020, 33(07):62-67.DOI:10.19676/j.cnki.1672-6995.000491.

[10] 赵慧. 关中盆地地下水地球化学及其开发利用的环境效应研究 [D]. 长安大学, 2009.

[11] 周阳, 穆根晋, 张卉, 等. 关中盆地地温场划分及其地质影响因素 [J]. 中国地质, 2017, 44(05):1017-1026.

[12] 黄建军, 周阳, 滕宏泉, 等. 关中盆地西安凹陷地热水赋存特征及其资源量估算 [J]. 西北地质, 2021, 54(01):196-203.DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.01.017.

[13] 梁成成. 眉县城区中深层地热资源采灌效果影响因素及系统优化布局研究 [D]. 长安大学, 2023.DOI:10.26976/d.cnki.gchau.2023.001479.

[14] 杨梦辉. 关中盆地地下水开发利用研究 [J]. 地下水, 012, 34(03):75-76.

[15] 王璐, 段晨阳, 孙佳芮, 等. 关中地区地温梯度分布规律及其影响因素研究 [J]. 地下水, 2023, 45(06):42-44+83.DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2023-06-012.