

沂南县地热水开采对地质结构的影响分析

刘璐

(山东沂蒙交通水利集团有限公司, 山东 临沂 276000)

【摘要】地热能作为清洁可再生能源,已广泛应用于旅游养生、供暖供电等多个领域,但长期规模化抽取地热水,可能会对地热开采区地质结构产生潜在扰动,引发地质环境问题。文章结合沂南县智圣汤泉水资源论证项目,系统剖析地热水开采对开采区地质结构的影响,为同类地热水开采项目的地质环境保护及可持续开发利用提供参考。

【关键词】沂南县;地热水开采;地质结构;热储层

【中图分类号】P314

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-07-0008-03

Analysis on Impacts of Geothermal Water Exploitation on Geological Structures and Prevention & Control Measures in Yinan

LIU Lu

(Yimeng Transportation & Water Group Co., Ltd., of Shandong Province, Linyi, Shandong 276000, China)

Abstract: As a clean and renewable energy source, geothermal energy has been widely applied in tourism, health preservation, heating, power supply and other fields. Nevertheless, long-term large-scale extraction of geothermal water may potentially disturb geological structures in geothermal exploitation areas and induce geo-environmental problems. Based on the water resources justification of the Zhisheng Hot Spring Project in Yinan County, this paper systematically analyzes various impacts of geothermal water exploitation on geological structures in geothermal mining areas, and offers reference for geological environment protection and sustainable development and utilization of similar geothermal water exploitation projects.

Key words: Yinan County; Geothermal water exploitation; Geological structure; Geothermal reservoir

智圣汤泉地热水开采项目位于山东省临沂市沂南县朝阳路与北外环的交汇处,该项目总占地面积 33.33 hm²,建筑面积 6 万 m²,绿化面积约 20 万 m²,总投资约 10 亿元,于 2009 年 5 月正式投入运营,核心业务涵盖温泉养生、保健按摩、住宿餐饮、会议娱乐及旅游休闲等。

智圣汤泉的地热水开采依托沂南县铜井地热田,矿区范围内共建设自备井 4 眼,因地下存在金矿、涌水量不足等因素已停止使用,目前仅铜 5 井正常运行。铜 5 井终孔深度 285 m,在-203 m 处与铜 1 井贯通,水位埋深介于 32.3~36.64 m 之间,水温维持在 54~60 ℃,采用地下开采模式,通过潜水泵将地热水抽出,经加装保温层的管道输送至度假村水处理车间,经除砂、曝气、除铁等工艺处理后,用于温泉洗浴环节,地热尾水经处理达标

后排入市政排水管网。

1 区域地质及水文地质情况

1.1 区域自然地理与地形地貌

沂南县地处鲁中地区、临沂市中北部,东与日照市莒县接壤,西与蒙阴县毗邻,南接临沂市中心城区,北连沂水县,地理坐标介于北纬 35°18'26"~35°46'15"、东经 118°6'36"~118°43'31"之间,总面积 1 719 km²。项目区域属于低山丘陵地貌,整体地势西高东低,呈西北向东南倾斜态势,地貌单元为构造剥蚀类型,西部为低山丘陵区,中部为狭长的沂河冲洪积平原,东部为丘陵地带,区域内山岭交错,河溪沟谷纵横,多为季节性

收稿日期:2026-01-22

作者简介:刘璐(1992—),女,工程师

水系,海拔最高点为双墩镇五彩山(762.8 m),最低点为砖埠镇洙阳村(88 m)。

1.2 区域地质条件

沂南县在大地构造上位于鲁西台背斜鲁中隆起区东南部,属沂泰隆起和马牧池穹断,东跨沂沭断裂带,中生代以来构造运动显著,断裂及岩浆活动发育,呈现“活化”地台型特征。境内地层具地台型二元结构,基底为太古界泰山群,盖层由震旦系土门组、古生界寒武系、奥陶系、石炭系、中生代侏罗系、白垩系及新生代第三系、第四系构成,因构造及岩体侵入,盖层出露不够连续。

智圣汤泉项目所在的铜井地热田边界明确,铜井岩体作为项目地热水开采的核心热储岩体,其分布范围与铜井地热田边界基本一致,为地热水的储存与运移提供了良好的地质条件。铜井岩体东边界及东南边界为F7断裂,西边界为F6断裂,北部边界至铜井岩体中心(大致沿铜汉庄村北部穿过),西南边界位于新王沟南村的西北,铜井岩体与寒武系崮山组地层接触界线北侧,地热田总面积为3.701 km²,地热资源储量达6 971 m³/d,为项目长期开采提供了资源保障。

1.3 区域水文地质条件

智圣汤泉项目区域属于暖温带季风区,为半湿润大陆性气候,四季分明,年平均气温12.9℃,多年平均降雨量达813.1 mm,降水主要集中在夏季,是地下水补给的主要来源。区域内地下水主要分为孔隙水、裂隙水和岩溶水三类,其中裂隙水和岩溶水是地热水的主要赋存形式,主要储存于铜井岩体的裂隙、孔隙以及寒武系、奥陶系地层的岩溶裂隙中,形成了稳定的热储层。

铜井地热田的热储层主要为铜井岩体的风化裂隙带和构造裂隙带,热储顶板埋深在-159.50~-239.18 m之间,不同井孔的热储层埋深存在差异:铜1井热储顶板埋深-220.86 m,铜5井热储顶板埋深与铜1井基本一致(-203 m处贯通)。地热水主要依靠大气降水入渗补给,通过断裂带、岩体裂隙进行运移,最终在地质构造有利区域富集,形成可开采的地热水资源。

2 地热水开采对地质结构的影响

2.1 对地下水位的影响

铜5井2016年静水位埋深32.33 m,后期逐

年小幅抬升至30.58 m,无持续大幅变化趋势。智圣汤泉项目年开采量10万m³,项目现状日开采量最大约274 m³/d,远低于地热田允许开采量745 m³/d,开采强度可控。地热水开发利用量仅占沂南县地下水开采的15.63%,项目区域地下水资源余量充足,规范开采不会引发区域地下水位持续下降;根据《山东省沂南县铜井地热田铜5井地热资源储量报告》及项目监测数据显示,项目开采范围内地下水取水影响范围主要集中在水井周边半径27.4 m内,影响范围较小,未形成明显的地下水位降落漏斗。

从长期开采视角分析,若项目持续维持现有开采规模,且未采取有效的补给措施,会导致热储层地下水补给量小于开采量,进而引发地下水位缓慢下降。地下水位下降会使热储层有效应力增加、孔隙水压力减小,导致地层颗粒间的有效应力增大,可能引发地层压缩,进而影响地下地质结构的稳定性。此外,地下水位下降还可能促使周边浅层地下水向热储层补给,改变区域地下水径流路径,影响地下水资源分布格局。但结合区域地下水开发利用程度低、补给量充足的现状,此类影响目前处于可控范围。

2.2 对水温的影响

铜5井原始水温60℃,项目运营以来,水温常年稳定在57~58℃,仅小幅微降2~3℃,无显著降温趋势。水温小幅下降主要为浅层冷水微量渗入和裂隙水交换所致,夏季丰水期尤为显著。按10万m³/a设计规模规范开采,不会破坏地热田热力平衡,水温可长期保持稳定,满足温泉地热水使用要求。

2.3 对水质的影响

地热水水质检测结果符合《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)Ⅲ类标准,为偏硅酸-氟型医疗热矿水,水质指标稳定达标。常规开采无重金属、有毒污染物超标,总α、总β放射性指标均符合规范,对人体健康无危害。地热尾水经中水净化池预处理和净污分离处理后,各项指标满足《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015),地热水开采及退水不会污染地下水原生水质。

2.4 对项目区地层变形的影响

地层变形是地热水开采对地下地质结构的

重要影响形式,主要表现为地面沉降、地层压缩等。项目区内第四系含水层首要接受大气降水入渗补给,第四系地下水总体由西北向东南径流,径流方向与地形坡向基本一致。其次是接受铜井河、沂河等季节性河流地表水的渗漏补给及农灌回渗补给,在新王沟北村南部的铜井河附近,还接受部分地热水的顶托补给;其排泄方式以人工开采排泄为主,以地下径流方式向东南排泄。再次是块状岩类裂隙含水层在矿区东南部的覆盖区接受上部第四系含水层的下渗补给;裂隙岩溶含水层主要接受矿区西北邻区的地下径流补给及裸露区的大气降水入渗补给,总体上由西北向东南径流,受铜井岩体及 F13、F7 等断裂阻隔后,折向西南方向径流;裂隙岩溶含水层是矿区内的主要供水及开采含水层,其排泄方式主要是人工开采及向西南径流排泄。

由于项目区内裂隙岩溶含水层与块状岩类裂隙含水层之间相互穿插,分布不连续,加上区内张性断裂构造发育,许多断裂同时切割了两类含水层,使两者间水力联系较密切,并保持较为连续的地下流场形态。据铜井镇铜矿普查资料,在 1977 年 6—12 月,项目区内地下水总体由西北向东南径流,水位标高一般在-115~-130 m。截至 2025 年底,在相对稳定的地质环境(如铜井岩体东边界及东南边界 F7 断裂带和西边界 F6 断裂带未被后期构造活动完全破坏)和适宜的地下水补给条件(如充足的降水)下,项目区内地下水的流场形态同 1977 年相比没有较大变化,也没有发生较大地面沉降。因此项目区地热水取水没有造成周围地面沉降。

2.5 对断裂带的影响

智圣汤泉项目所在的铜井地热田周边分布有 F6、F7 两条主要断裂带,断裂带既是地下水运移的重要通道,也是地下地质结构的薄弱环节,地热水开采可能会对断裂带的稳定性产生扰动,引发断裂带活化。同时,由于 F6、F7 深大断裂直接沟通了地壳深部甚至上地幔的热源,能够将深部的高温热量快速传导至浅部,为地下水提供了充足的循环空间和补给来源,因此温泉流量较大,智圣汤泉的设计可采量达 745 m³/d。目前,项目区地热水开采范围主要集中在铜井地热田内部,与 F6、F7 断裂带存在一定距离,且开采规模

较小,未对断裂带产生明显扰动,断裂带处于稳定状态。

长期开采地热水会导致热储层压力下降,使得断裂带两侧的地层压力差发生变化,引发断裂带轻微位移或活化。断裂带活化不仅会改变地下水运移路径,导致地热水补给量减少,还可能诱发地震、岩体滑坡等地质灾害,对地下地质结构造成严重破坏。此外,断裂带活化还可能导致地下热水与浅层地下水混合,影响地热水水质,降低其利用价值。

2.6 对热储层的影响

热储层是地热水储存与运移的核心载体,其完整性和稳定性直接决定地热水资源的可持续开采能力,地热水开采会对热储层的结构、渗透性及热储能力产生直接影响。智圣汤泉项目地热水开采依托铜井岩体热储层,目前开采量处于合理范围,未对热储层造成明显破坏,热储层的渗透性、热储能力保持稳定。

长期开采地热水会导致热储层热水储量减少、温度下降,进而削弱热储层的热储能力。此外,地热水开采过程中,可能会携带部分地层颗粒进入井孔,导致热储层孔隙、裂隙堵塞,降低热储层渗透性,影响地热水的运移与补给,进而导致井孔涌水量下降,影响项目地热水开采的可持续性。

2.7 影响程度综合评价

综合分析可知,智圣汤泉项目当前项目现状开采量约 274 m³/d,远低于地热田允许开采量 745 m³/d,项目现状年开采量约为 1.642 5 万 m³(占地热水开采规模 10 万 m³/a 的 16.425%),远低于论证区地下水允许开采量,开采影响范围较小,目前尚未对地下地质结构产生明显不利影响,未出现地面沉降、断裂带活化、热储层破坏等问题,影响程度轻微,处于可控范围。

3 防控措施及建议

3.1 建立完善的地质环境监测体系

将温泉区地层变形防控纳入国土空间规划与地质灾害防治监测体系,定期开展地质环境本底调查与变形趋势模拟;构建长期有效的地质环境监测体系,重点监测地下水位、地层变形、热储层温度等核心指标,实时掌握地(下转第 20 页)