

天津市地热资源回灌保护研究现状及发展方向综述

胡良君

天津地热勘查开发设计院 天津 300250

【摘 要】：天津市作为我国地热资源开发利用的先行区域，地热在供暖、康养、旅游等领域发挥了重要作用。然而，长期开采导致热储压力持续下降、资源枯竭风险加剧，并可能引发地面沉降等环境地质问题。回灌是维持热储压力、实现地热资源可持续利用的关键技术手段。本文系统梳理了天津市地热回灌技术的发展历程、现状特征、主要技术挑战（包括回灌井布局、堵塞机理、结垢控制等），并结合国内外先进经验，对未来天津市地热回灌在政策管理、技术创新、智能化监测等方向的发展路径提出建议。

【关键词】：地热回灌；热储压力；天津市地热回灌发展路径

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.058

1 引言

天津市地热资源属于沉积盆地型中低温地热资源，主要赋存于新近系明化镇组、馆陶组、古生界奥陶系及中新元古界蓟县系雾迷山组等热储层。自 20 世纪 70 年代规模化开发以来，地热已成为天津市清洁能源体系的重要组成部分。但随着开采强度加大，热储压力以每年 0.5-3 米的速度下降，资源保护迫在眉睫。回灌技术通过将尾水回注至热储层，实现“取热不取水”的循环利用模式，是保障地热可持续开发的核心途径^[1]。天津市自 20 世纪 90 年代启动回灌试验，目前已形成以同层回灌为主、异层回灌为辅的技术体系，但回灌效率、井距优化、化学堵塞控制等问题仍需深入攻关。

自“十三五”以来天津市历史遗留的单井整治工作不断加强，明化镇组、馆陶组以消耗性用水为主的地热单井逐年削减，且自“十三五”以来明化镇组热储无新增地热开采井，地热单采井不具备回灌条件的，采矿证到期后不再延续，涉及生活用水等消耗性的用途不再保留^[2]；新增馆陶组和雾迷山组地热井全部以采灌对井模式进行开发利用，以往地热单采井通过补建回灌井或与其他采灌井整合配对形成采灌系统满足回灌，并严格按照“以灌定采”原则审批采矿权开采指标。

自“十三五”以来各热储层地热井回灌量、回灌率逐年增加，消耗量占比逐步减少，详见表 1。2016-2024 年度以来，明化镇组热储回灌率由 4.37% 升至 42.55%，馆陶组热储回灌率由 26.31% 升至 95.52%，雾迷山组热储回灌率由 54.27% 升至 93.22%。

表 1 2016、2020、2024 年明化镇组、馆陶组和雾迷山组地热资源采灌量统计表

热储层	年度	开采量 (10 ⁴ m ³)	回灌量 (10 ⁴ m ³)	消耗量 (10 ⁴ m ³)	回灌率 (%)
明化镇组	2016	402.14	17.58	384.56	4.37
	2020	321.25	25.96	295.29	8.08
	2024	143.64	61.13	82.51	42.55
馆陶组	2016	1009.79	265.64	744.16	26.31
	2020	1419.75	609.96	809.79	42.96
	2024	898.07	857.79	40.28	95.52
雾迷山组	2016	2106.13	1142.95	963.18	54.27
	2020	2906.87	2188.03	718.84	75.27
	2024	2979.33	2777.45	201.88	93.22

“十三五”~“十四五”期间，随着回灌量、回灌率逐年增加，对比 2016 年、2020 年、2024 年各热储层水位年降幅数据，各热储层水位年降幅均明显减缓，多数地区水位出现回升：

明化镇组热储水位年降幅由2016年的1~6.72m下降至2020年的-2.05~3.72m, 2024年下降至-6.68~0.15m; 馆陶组热储水位年降幅由2016年的2~5m下降至2020年的-8.67~4.52m, 2024年下降至-3.44~3.22m; 雾迷山组热储水位年降幅由2016年的2~9.1m下降至2020年的-3.87~3.84m, 2024年下降至-8.86~1.96m。“十三五”期间明化镇组热储、馆陶组热储漏斗中心地带水位均有所回升, 漏斗外围区域降幅减缓; 雾迷山组热储大部分地区水位普遍回升, 市内六区、东丽、津南及西青等几个水位降落漏斗区范围开始缩小。“十四五”期间, 明化镇组热储水位除DG-22井周边区域外全市其他区域水位继续保持回升, 馆陶组热储水位除在局部静海城区以南水位出现过回升转为下降的波动趋势, 全市其他区域水位继续保持回升, 雾迷山组热储水位除静海区西南部的唐官屯等局部地区水位仍在下降外, 整体水位持续回升。

2 高质量发展优化对策

2.1 技术创新优化

结合天津各热储层地质特征, 针对性开展差异化回灌技术攻关。针对明化镇组、馆陶组、雾迷山组不同储层的孔隙结构、渗透特性、水文地质条件, 优化采灌井布局与井距参数, 建立分层分类的井网布局标准体系; 对老旧改造回灌井开展专项优化改造, 破除井型、井位限制, 提升采灌匹配度。同时, 研发高效环保的防垢、除垢技术, 结合物理过滤、化学缓释、生物抑制多重手段, 从源头防控回灌堵塞问题, 探索适配天津地热水质与储层条件的长效防堵塞工艺, 降低运维成本。此外, 完善异层回灌技术体系, 明确异层回灌的适用场景、施工标准与安全规范, 形成“同层为主、异层补充、分层适配”的多元化回灌技术体系。

2.2 政策管理完善

持续深化“以灌定采、总量管控”的资源管控模式, 出台差异化热储层管理细则, 针对浅层明化镇组强化资源保护, 严控开采规模, 持续推进老旧单井清退整治; 针对馆陶组、雾迷山组成熟热储层, 规范采灌对井开发标准, 实现规模化、标准化循环开发。建立地热资源开发全生命周期监管机制, 细化项

目审批、建设、运维、退出各环节管控要求, 明确企业主体责任与部门监管职责, 搭建跨部门协同监管体系, 彻底整治违规开采、回灌不达标等问题^[1]。同时, 完善地热资源开发激励与约束机制, 对回灌达标、高效运维的项目给予政策扶持, 对违规开采、破坏资源的主体严肃追责。

2.3 智能化体系建设

传统人工监测方式时效性差、数据精度低, 无法及时预判热储层压力波动、堵塞隐患及地质环境风险。此外, 缺乏统一的地热回灌数据管理平台, 各区域监测数据分散、数据互通性差, 难以依托大数据、智能化技术实现回灌工况精准调控与资源动态管控。推进全市地热井智能化监测全覆盖, 为各类采灌井加装压力、水位、水质、流量、温度实时监测设备, 实现回灌工况、热储状态、地质环境风险的动态实时感知。搭建一体化地热回灌大数据管理平台, 整合各区域、各热储层开采回灌数据, 实现数据互通、智能分析、风险预警。依托大数据模型精准预判热储压力变化趋势、堵塞隐患及资源承载力, 为回灌方案优化、开采指标调整、资源保护决策提供数据支撑, 推动天津地热回灌从传统经验化管控向智能化、精准化、科学化管控转型。

3 结论

天津市作为国内地热资源规模化开发利用的标杆区域, 历经数十年发展, 地热回灌技术与管控体系逐步成熟, 尤其在“十三五”至“十四五”期间, 通过推进老旧单井整治、落实“以灌定采”管控原则、推广采灌对井开发模式, 全市地热资源采灌格局实现根本性优化。2016-2024年三大主力热储层回灌率大幅提升, 馆陶组、雾迷山组回灌率均突破90%, 明化镇组回灌率实现数倍增长, 地热水消耗量持续下降, 彻底扭转了长期高强度开采导致的热储压力衰减、水位大幅下降的局面。各热储层水位年降幅显著放缓, 大部分区域水位持续回升, 地面沉降、资源枯竭等地质环境风险得到有效遏制, 实现了地热资源开发与生态保护的协同发展。天津市需立足自身地热资源禀赋与开发现状, 聚焦技术创新、政策完善、智能升级三大核心方向, 针对性破解各类技术与管理难题, 构建分层适配、高效稳定、智能可控的地热回灌体系。

参考文献:

- [1] 边晓南, 张洪亮, 夏文君. 德州市地热资源回灌利用和效益分析[J]. 海河水利, 2020, (4): 7-8.
- [2] 王光辉, 赵娜, 唐永香, 等. 孔隙型地热资源回灌模式研究——以天津市滨海新区为例[J]. 地质调查与研究, 2014, 37(2): 155-160.
- [3] 赵志超. 河北平原地热资源合理开发保护关键技术[J]. 环境与发展, 2017, 29(4): 7-8.