

地热能供热工程施工管理关键技术及优化策略研究

韩政 郭翔

中石化绿源地热能(陕西)开发有限公司 陕西咸阳 712000

摘要:在“双碳”目标驱动下,地热能供热工程推广对优化能源结构、降低碳排放意义重大。本文围绕地热能供热工程施工管理,深入剖析地热资源勘查、地热井施工等关键技术,揭示施工质量管控薄弱、成本控制体系缺陷等现存问题。在此基础上,研究针对性地提出构建全流程质量管控体系、实施全生命周期成本优化策略、强化安全环保管理路径,并结合典型项目案例对比分析,为提升地热能供热工程施工管理水平、保障工程高效运行提供参考。

关键词:供热工程;施工管理;关键技术;优化策略

引言

在全球加速迈向绿色低碳发展的进程中,地热能作为清洁稳定、可再生的优质能源,在地热能供热工程领域的重要地位愈发凸显。我国相继出台《地热能开发利用“十四五”规划》等文件,大力推动地热能供热产业发展。然而,地热能供热工程施工面临质量管控不严、成本居高不下等困境,制约地热能供热工程高效推进及可持续发展。鉴于此,深入剖析地热能供热工程施工管理关键技术,探寻切实可行的优化策略,于提升工程质量、降低成本具有重要的现实意义。

一、施工管理关键技术体系解析

1. 地热资源勘查技术与精准评估

地热资源勘查是地热能供热工程的重要基础,其准确性直接影响项目可行性。实际操作中,常以“空天地”一体化技术为核心,融合卫星遥感、无人机航测与地面勘探手段。例如在勘查青海共、盆地地热中,通过Landsat卫星热红外影像初步圈定高温异常区域,结合无人机倾斜摄影技术建立高精度三维地质模型,最终利用可控源音频大地电磁法(CSAMT)精准定位地下2000米深处的花岗岩裂隙型热储层,该技术组合可显著提升堪

察效率。在资源评估环节,依据《地热资源地质勘查规范(GB/T 11615-2020)》,需建立“地质-地球物理-地球化学”多参数耦合模型。

2. 地热井施工关键技术优化

地热井施工需攻克高温($>150^{\circ}\text{C}$)、高矿化度流体腐蚀等难题。在川藏铁路沿线地热井施工中,采用孕镶金刚石钻头与螺杆马达组合,配合油基钻井液体系,将钻头寿命从常规30小时延长至80小时;同时应用耐高温防漏失水泥浆(添加硅粉与缓凝剂),使固井二界面胶结强度提升35%,有效解决高温井段水泥浆提前凝固问题。井下监测技术方面,分布式光纤测温系统可实现井深温度分辨率 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}/\text{m}$,实时监测井壁温度变化,预防热突破风险。例如在陕西咸阳某地热井施工中,基于该系统及时发现井漏隐患,避免因泥浆流失导致井壁坍塌事故,成井周期缩短近15%。

3. 地热能传输系统施工技术

地热能传输系统需兼顾长距离输送效率及其安全性。在雄安新区地热供热管网建设中,采用三层结构保温管:内层为耐高温PE-RT II型管材(耐温 95°C),中间层为聚氨酯泡沫(密度 $\geq 60\text{kg}/\text{m}^3$),外层为高密度聚乙烯防护层,经测试在 -20°C 环境下运行10年,热损失率 $< 3\%$ 。管道敷设采用“应力计算-BIM模拟-现场监测”三位一体技术,通过ANSYS模拟热膨胀应力分布,优化固定墩间距;利用BIM技术对穿越城市主干道的1.2公里管段进行碰撞检测,发现并修正23处管线交叉冲突。在智能化调控方面,引入基于物联网的压力平衡系统,如北京小汤山地热供热项目,通过部署200余个压力传感器、电动调节阀,将管网压力波动严格控制在

作者简介:韩政,单位:中石化绿源地热能(陕西)开发有限公司,单位所在地(省市):陕西省咸阳市秦都区,邮编:712000,性别:男,籍贯:陕西省咸阳市秦都区,民族:汉,出生年月:1985年9月,学位:学士学位,职称:工程师,专业:计算机科学与技术,研究方向:地热能开发与利用。

表1 地热能传输系统施工技术项目参数

分类	项目	参数/技术	应用案例	效果/成果
保温管结构	内层材质	PE-RT II型管材	雄安新区地热供热管网	耐温 95℃
	中间层材质	聚氨酯泡沫		密度 ≥ 60kg/m ³
	外层材质	高密度聚乙烯		防护作用
热损失	测试环境	-20℃环境, 运行10年		热损失率 < 3%
管道敷设技术	应力计算方式	ANSYS模拟	雄安新区地热供热管网	优化固定墩间距
	模拟内容	热膨胀应力分布		
	BIM模拟管段长度	1.2公里		穿越城市主干道
	BIM模拟成果	碰撞检测		发现并修正23处管线交叉冲突

± 0.05MPa 以内, 保障50万平方米建筑稳定供热。

二、地热能供热工程施工管理现存问题诊断

1. 施工质量管控薄弱环节分析

地热能供热工程施工质量管控存在多层级漏洞。在勘查环节, 部分企业为压缩成本简化勘探流程, 仅依赖浅层地质调查, 未开展深层地热构造探测, 导致地热储层位置、温度等关键参数误判, 影响后续工程设计准确性。地热井施工中, 高温高压环境下井壁稳定性控制技术落实到位, 部分工程未严格按照《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615-2020) 要求选用耐高温泥浆体系, 导致井壁坍塌风险增加; 固井阶段水泥浆配比不合理、注水工艺不规范, 致使地热流体泄漏隐患突出。

2. 成本控制体系缺陷与成因

当前地热能供热工程成本控制体系存在结构性缺陷。前期勘查阶段, 缺乏区域地热资源数据共享机制, 企业需各自开展全面勘探, 导致重复投入、增加勘探成本。对于设备采购环节, 国内耐高温、耐腐蚀特种材料及核心设备研发不足, 现阶段对于进口产品依赖度高, 这就导致其采购成本高昂, 且受国际市场波动影响。施工过程中项目管理粗放, 进度计划不合理、资源调配不科学, 常出现工期延误、设备闲置等问题, 导致人工、机械成本大幅增加。

3. 安全环保管理瓶颈与风险

目前来看, 安全环保管理成为地热能供热工程突出短板。施工安全方面, 部分项目未严格执行《城镇地热供热工程技术规程》, 高温地热流体管道耐压性能未达设计要求, 未按规定进行1.5倍设计压力的水压试验, 存在爆裂风险; 与此同时, 井下作业环境较为复杂, 缺乏完善的有毒有害气体实时监测、预警装置, 硫化氢等气体泄漏事故时有发生。在环境保护层面, 地热尾水排放管

理尚不规范, 部分项目未配套建设回灌系统, 直接排放高温、高矿化度尾水, 易引发土壤盐碱化、水体污染等问题。

三、地热能供热工程施工管理优化策略与实施路径

1. 全流程质量管控体系构建

针对施工质量管控多层级漏洞, 需建立覆盖勘查、施工、运维的全流程质量管控体系, 形成“事前预防、事中监督、事后追溯”的闭环管理机制。在勘查阶段, 严格遵循《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615-2020), 采用“物探+钻探”结合模式, 以华北平原地热项目为例, 通过可控源音频大地电磁法(CSAMT)与钻孔取样交叉验证, 将热储层参数误差率控制在5%以内。

进入地热井施工环节, 引入“施工-监理-业主”三方联合验收机制, 强化过程管控。在泥浆配制过程中, 强制使用耐高温油基泥浆体系, 实时监测泥浆密度、黏度等关键参数, 保障井壁稳定性; 固井阶段采用双级注水泥工艺, 如陕西咸阳地热井施工中, 通过添加硅粉与缓凝剂优化水泥浆配方, 使二界面胶结强度提升35%。此外, 还可借助施工质量追溯系统, 基于各道工序进行电子签名存档, 一旦出现问题即可精准溯源, 实现责任到人。

传输系统与智能控制则是保障供热效果的关键环节。该过程中可制定相应的《地热能供热管网施工验收细则》, 文件中明确保温管道接口需采用热熔焊接与聚氨酯补口双重防护标准。以雄安新区地热管网项目为例, 利用BIM技术模拟管道应力分布, 科学优化固定墩间距, 并通过分布式光纤测温系统实时监测保温层完整性。

2. 全生命周期成本优化策略

地热能供热工程成本控制需贯穿项目全生命周期, 从勘查、采购、施工到运行阶段协同发力, 实现“开源

节流”双重目标。在前期勘查阶段，依托自然资源部门搭建区域地热资源数据库，建立数据共享与付费查询机制。例如天津滨海新区基于该平台，助力企业减少重复勘探工作，单井勘探成本降低30%。设备采购环节鼓励企业与科研机构联合攻关，推动高温潜水泵、耐腐蚀管材等核心装备国产化。中石化研发耐高温螺杆泵，成本较进口设备降低40%，并在华北地区多个项目成功推广，有效缓解供应链依赖问题。

施工过程中运用Project软件编制精细化进度计划，并建立动态调整机制。通过施工进度看板实时监控地热井钻井、管道敷设等关键节点，一旦发现工序滞后，立即启动预警并调配资源。某西北地热项目采用该管理模式后，工期缩短12%，设备闲置成本减少25%。运行阶段引入能源管理系统（EMS），通过智能电表、热量表实时采集地热井抽水量、管网热损耗等数据，结合机器学习算法优化运行参数。

面对资金压力，地热能供热工程需积极探索多元化融资渠道。推动绿色金融工具创新，鼓励银行开发“地热贷”专属产品，提供低息贷款支持；同时深入探索REITs模式盘活存量地热资产，吸引社会资本参与。充分利用国家“十四五”地热能发展专项资金，重点支持技术研发与示范项目建设，为行业发展注入资金活力。

3. 安全环保管理强化路径

地热能供热工程可持续发展底线要求即安全环保管理，为此，工程管理中需构建“预防-监测-应急”三位一体的管理体系。在施工安全方面，严格执行《城镇地热供热工程技术规程》，强制要求高温管道安装前进行1.5倍设计压力的水压试验，并采用智能监测系统实时监控管道应力、温度变化。在井下作业区域，安装硫化氢、甲烷等有毒有害气体监测装置，一旦浓度超标，自动触发声光报警与通风系统。

环保管理层面则严格落实《地热回灌工程技术规范》，要求所有项目须配套建设回灌系统。在回灌井施工中，采用高压旋喷注浆技术加固井壁，提升回灌效率。山东某地热项目通过优化回灌工艺，将尾水回灌率从60%提升至95%，有效避免地面沉降问题。对于无法回灌的尾水，需进行脱盐降温处理，确保达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）后再排放。

此外，在地热能供热工程中还需建立完善的环境风险应急预案，定期开展突发泄漏、地面塌陷等事故应急演练，提升应急处置能力。引入公众参与机制，通过设置施工噪声监测公示屏、开通环保投诉专线等方式，及时响应周边居民诉求。

结论

综上所述，研究中系统地研究了地热能供热工程施工管理方案，深度解析地热能供热工程关键技术，揭示该工程在质量、成本、安全环保等方面的突出问题。在此基础上，研究提出全流程质量管控、全生命周期成本优化及安全环保强化策略。研究成果为提升施工管理水平、保障工程高效运行提供理论与实践支撑。

参考文献

- [1] 樊登兵. 分析热能工程技术在供热领域中的改革及创新[J]. 冶金与材料, 2022, 42(03): 126-127.
- [2] 杨超, 张鹏飞, 贺云飞, 等. 基于中深层地埋管供热技术的工程实例分析[J]. 中国设备工程, 2021, (24): 263-264.
- [3] 石磊. 供热领域中热能工程技术的改革路径分析[J]. 居舍, 2021, (12): 57-58.
- [4] 齐盛. 新时代环境下探讨热能工程技术在供热领域中的改革及创新[J]. 居舍, 2020, (17): 73-74.