

中深层地热工程施工中常见的质量安全问题及控制措施

杨悦¹ 高玉辉² 党宽²

1. 西咸新区盛源裕能科技发展有限公司, 陕西 西咸 712000

2. 陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司, 陕西 西咸 712000

[摘要] 中深层地热能是指埋藏在地下数百米至数千米深处的热能资源, 具备长期稳定供应的能力。除了在地热发电中的广泛应用外, 它还被广泛用于工业加热、温室种植等多个领域。随着技术的不断发展, 中深层地热能的开发潜力日益显现, 但在施工过程中, 地质勘察、钻井、设备安装等技术难题, 以及由此引发的安全与环保问题, 仍然是影响项目高效推进的重要因素。因此, 如何有效控制施工过程中出现的质量与安全问题, 已成为推动地热能源可持续利用的关键所在。

[关键词] 中深层地热; 质量安全; 施工管理

DOI: 10.33142/aem.v7i2.15752

中图分类号: TU3

文献标识码: A

Common Quality And Safety Issues and Control Measures in the Construction of Mid to Deep Geothermal Engineering

YANG Yue¹, GAO Yuhui², DANG Wei²

1. Xixian New Area Shengyuan Yuneng Technology Development Co., Ltd., Xixian, Shaanxi, 712000, China

2. Shaanxi Xixian New Area Chuangtuo New Energy Development Co., Ltd., Xixian, Shaanxi, 712000, China

Abstract: Deep geothermal energy refers to thermal energy resources buried hundreds to thousands of meters underground, with the ability to provide long-term stable supply. In addition to its wide application in geothermal power generation, it is also widely used in various fields such as industrial heating and greenhouse planting. With the continuous development of technology, the potential for the development of mid to deep geothermal energy is increasingly evident. However, during the construction process, technical difficulties such as geological exploration, drilling, and equipment installation, as well as safety and environmental issues arising from them, remain important factors affecting the efficient progress of projects. Therefore, how to effectively control the quality and safety issues that arise during the construction process has become the key to promoting the sustainable utilization of geothermal energy.

Keywords: deep geothermal energy; quality and safety; construction management

引言

随着全球能源需求的持续增长以及环境问题的日益严峻, 越来越多的国家将可再生能源的开发列为战略重点。作为一种高效且环保的能源形式, 中深层地热能凭借其巨大的开发潜力, 逐渐引起了广泛关注。相较于浅层地热能, 中深层地热能不仅拥有更为丰富的储量, 还展现出更广泛的应用前景。但施工过程中复杂的地质环境、高温高压的工作条件以及对设备提出的高标准要求, 使得质量安全问题成为影响项目成败的关键因素。因此, 针对这些挑战, 必须提出并切实落实有效的质量安全控制措施, 以确保项目能够顺利实施。

1 中深层地热能的定义与特点

中深层地热能是指位于地球表面以下几百米至几千米深的地下热量资源, 主要来源于地球内部的热积累。通过热传导、对流等自然过程, 这些热量逐渐向地表释放。相较于浅层地热能, 中深层地热能具有更高的热储量和更稳定的热供应, 适用于地热发电、工业加热、温室种植等多个领域。其丰富的储量不仅可以提供长期稳定的热能, 还能有效降低对化石燃料的依赖, 促进能源结构的转型。

中深层地热能的突出优势在于其高温特性。深层地热资源的温度通常较高, 这使其能够满足冶金、化工等行业对高温热源的需求。同时, 地热能作为一种地下自然生成的能源, 属于可再生资源, 其热量供应在较长时间内保持相对稳定, 具备强大的持续性。这使得地热能在提供长期稳定的电力与热力供应方面具备显著优势。在环保方面, 中深层地热能的开发与利用具有明显优势。其利用过程中不产生有害气体或温室气体排放, 符合全球对绿色、低碳能源的需求。地热能不仅有助于缓解能源危机, 还在减少污染和碳排放方面发挥着重要作用。尽管如此, 开发中深层地热能仍面临技术上的挑战, 例如高成本的钻探技术要求以及对水资源的需求等。因此, 在实际应用中需要综合考虑地质条件、技术可行性与环境影响等因素, 确保其可持续发展。

2 中深层地热工程施工中的质量安全问题

2.1 地质勘察与钻井过程中常见的问题

在中深层地热工程施工中, 地质勘察与钻井阶段的关键性不言而喻, 它们直接关系到项目的顺利实施, 这两个环节往往面临着诸多挑战。地质勘察阶段, 若数据存在不准确或不完整的情况, 常常会导致钻井位置与深度的错误

选择。虽然勘察工作应对地下岩层、热储层以及水文条件进行全面分析,但由于技术手段和设备的限制,完全准确的地下信息往往难以获得。缺乏精确数据的支持,会导致钻井过程中的偏差,进而影响地热资源的有效提取。钻井过程中,复杂地质条件的不可预见性也成为了另一个重大难题。地下岩层可能具有断层、裂隙等异质结构,在这些区域,钻井设备容易遇到阻力,甚至可能导致设备故障或钻井失败。若钻井深度的估计过度或不足,施工成本可能失控,进度也会受到影响。除了这些问题,地热井的稳定性也需引起高度重视。如果地下水流与热储层的变化未能充分考虑,井壁可能会发生坍塌,从而影响后续作业,甚至引发井漏等安全隐患。钻井液的使用,作为一个容易被忽视的环节,实际上在钻井过程中起着至关重要的作用。若钻井液的配比不当,井壁支撑的稳定性将受到影响,严重时甚至可能引发井喷等事故。这类问题不仅会增加施工难度,还可能带来安全隐患,甚至产生额外的经济损失。因此,在地质勘察与钻井阶段,任何疏忽或失误,都可能对地热项目的质量、安全与成本控制产生深远的影响。

2.2 热能提取与温控系统的问题

在中深层地热工程中,热能提取与温控系统的设计与运行是决定项目成败的关键因素,这一环节往往面临多种问题,严重影响整体效率与安全。热能提取系统的效率尤为重要。地下热储层温度分布的不均匀性,导致了热能提取过程的不稳定性。某些区域的热流量远低于预期,难以持续满足发电或供热需求,结果整体系统效率大幅下降。随着时间的推移,地热井的热量逐渐减少,若未采取有效的再注水或其他管理手段,热能提取的持续性与稳定性将遭遇严重挑战。温控系统的稳定性同样构成了中深层地热项目中的一大难题,该系统通常需要在高温环境下长时间运行,因此温控设备及管道的耐高温性能显得尤为重要。若系统设计存在缺陷或设备质量未能达到标准,温度波动或设备故障的风险将显著增加,导致热量输出控制不准确,这不仅妨碍了热能的有效利用,还可能造成设备损坏,甚至引发安全事故。随着地热井温度的逐渐下降,温控系统应对热量需求变化时,可能出现响应迟缓或过度调节的问题,从而增加了操作的复杂性。热交换效率是热能提取过程中常见的另一问题,地下热能储量与地质结构的差异,往往导致热交换器效果的显著降低,热量传递效率大幅下滑,未能迅速有效地将地下热能转化为所需能源。这些问题的叠加不仅使地热能的利用效率大打折扣,还可能导致项目成本上升,增加设备的维护频率。

2.3 设备安装与调试中的质量问题

设备安装与调试是中深层地热工程中的关键环节,然而在这一过程中,质量问题常常会影响项目的顺利实施。在设备安装阶段,若现场环境复杂或施工团队经验不足,设备安装可能存在不规范的情况。未按规定标准布置的部

分设备,连接松散的部件,甚至出现的漏水、漏气等安全隐患,都可能在后期运行中引发故障。若这些问题未能在早期被发现,严重时将导致设备故障,甚至引发安全事故。调试阶段同样存在诸多质量问题值得引起重视,设备安装完成后,调试是确保设备能够正常运行的关键步骤。然而,由于调试人员经验不足、操作不当,或者对设备性能理解不充分,调试过程中可能未能充分进行,或参数设置不当。举例来说,在进行温控系统的调试时,若对系统负荷或温度波动的预测不准确,可能会导致系统过载或温控不精确,进而影响整体系统效率。未能达到预定标准的运行测试,可能导致后期系统运行不稳定,增加维护成本,甚至带来设备停机的风险。设备本身的质量也是不可忽视的问题。市场上存在部分质量较差的地热设备,低质量的设备往往在安装后无法满足预期的热能输出或效率要求。即便安装和调试都符合标准,设备的硬件问题依然可能影响系统的整体运行。若在设备验收过程中不严格把关,某些潜在缺陷可能被忽视,从而影响系统的长期稳定性。

3 中深层地热工程施工中的质量安全控制措施

3.1 地质勘察与钻井技术改进

在中深层地热工程的施工中,地质勘察与钻井技术的准确性直接决定了项目的成败。为了实现高效的地热资源开发,地质勘察工作必须进行深入细致的研究,依靠先进的勘探技术获取精确的地下数据。随着地质勘察技术的不断进步,许多高精度的地球物理探测方法得到了广泛应用,如地震反射波法、电磁探测法以及三维地质建模技术,这些技术能够更清晰地揭示地下岩层结构、热储层分布以及水文条件,为后续的钻井工作提供可靠的科学依据。随着深层地热资源需求的不断增长,传统钻井技术面临的挑战也在不断增加,促使新型钻井技术的不断涌现。采用更高效的钻头和钻井液,能够有效减少井壁坍塌、卡钻等常见问题,从而提升钻井过程的安全性及效率。智能钻井技术的引入,使钻井作业实现了自动化与智能化,实时数据监控与远程操作变得可行^[1]。这一技术进步大大提高了作业的精准度,并有效减少了因人为失误而带来的风险。在钻井过程中,适应不同地质条件的能力也至关重要。在复杂的地质环境中,岩层坚硬或断层频繁的区域,传统钻井方法往往效率低下,甚至存在较大的安全隐患。在这种情况下,定向钻井与多分支钻井技术的应用,能更精确地定位热储层,避免在复杂地质条件下出现钻井失败。随着这些技术的不断改进与创新,钻井作业的成功率得到了显著提高,施工期间的安全隐患得到了有效降低,为后续地热资源的顺利提取奠定了更为坚实的基础。

3.2 热能提取与温控系统的优化措施

在中深层地热工程中,热能提取与温控系统的优化对于系统的整体效率及其长期可持续性至关重要。为了提高热能提取的效率,需要从多个角度进行改进。传统热交换

设备常常面临热交换效率低的局限,而新型高效热交换器则通过优化换热材料和提升流体的动力性能,显著提高了热量传递的效率,从而减少了能量损失,这一改进不仅提升了热能提取的效果,还延长了设备的使用寿命,进而降低了后期的维护成本。温控系统的精准调控同样至关重要,尤其在地热井逐渐冷却或热能需求波动时^[2]。通过采用智能温控技术,如自动化调节与智能控制系统,可以实现对热能输出的实时监控,并根据不同运行条件进行动态调整。结合大数据和物联网技术,温控系统能够在实时数据的支持下,自动调整工作模式,确保热能的稳定供应,并避免因过度调节所带来的能耗浪费。对于热能提取的持续性问题,引入再注水系统是一种有效的应对策略。将冷却后的热水重新注入地下热储层,可以有效抑制地下热源温度的下降,从而维持热储层的温度平衡。这种循环利用不仅有助于延长地热井的使用周期,还确保了热能提取的可持续性,保障了资源的高效利用。

3.3 严格的设备安装与调试管理

在中深层地热工程中,设备的安装与调试是确保系统稳定运行的核心环节。任何在这两个阶段的疏忽,都可能导致后续操作中的故障,进而影响项目的长期效能。因此,必须对安装与调试过程进行严格管理。在设备安装阶段,重点是确保所有设备都严格按照设计规范与标准进行布置,尤其是在复杂的地下环境中,设备的位置、固定方式以及连接方式必须精准无误。在安装前,所有设备必须经过全面检查,确认其性能与质量符合技术要求,以避免因设备问题而影响后期系统运行。调试阶段同样不可忽视,它不仅是对设备的开机测试,更是对各项技术参数进行全面验证与调整的过程。专业技术人员需通过细致检查与实时数据监控,确保每个系统组件都在预定的工作参数范围内稳定高效运行。对于热能提取、温控以及循环水系统等关键设备,必须进行多轮负荷测试与应急模拟,以确保系统能够在不同工况下平稳应对各种需求。同时,还应检查设备间的互联互通,避免在实际运行中出现协调性问题,确保系统的整体协调与高效运作。在调试过程中,详细的记录与反馈机制应始终保持,以确保每个测试参数和调整步骤都有可追溯的记录。通过这样的做法,能够及时识别并解决潜在的技术问题,同时为后期维护与设备优化提供宝贵的数据支持。严格的管理与细致的操作,不仅有效降低了设备故障发生的概率,还为系统在投入实际运行后的稳定性与安全性提供了保障。

3.4 施工人员安全管理与培训

在中深层地热工程中,施工人员的安全管理与培训是确保项目顺利推进的关键保障。考虑到施工环境中常常存在高温、高压、深井等高风险因素,施工人员的安全不仅关乎个体的保护,更是项目顺利实施的基础。在施工前,

所有施工人员必须接受详细的安全培训,确保每位员工充分了解潜在风险及应急处理措施。培训内容需涵盖基础安全知识、操作规范、应急响应程序以及个人防护措施等多个方面,尤其对于从事高空作业、深井钻探等特殊工种的人员,必须进行专项培训,以确保其能正确操作设备,防止因人为失误引发安全事故。施工现场的安全管理同样至关重要,仅有培训是不足够的,现场的安全管理措施必须严格执行。通过定期开展安全巡查,并设置明确的安全标识制度,可确保施工操作严格遵守安全规范,及时发现并排除潜在安全隐患。现场还应配备必需的安全防护设备,如防护服、头盔、耳塞、氧气瓶等,以应对复杂的作业环境和突发紧急情况,确保人员在高风险环境中的安全。应急预案的编制与定期演练是保障施工安全的另一个重要环节,即便在充足的培训与严格的现场管理下,事故的发生仍然无法完全避免^[3]。因此,必须定期组织应急演练,确保所有施工人员在紧急情况下能够冷静应对,并迅速采取正确措施。演练内容应涵盖火灾、气体泄漏、井下坍塌等可能的突发事件,以确保每位工作人员能够在实际灾难中迅速作出正确反应,最大限度地减少事故带来的损失。

4 结语

中深层地热工程,作为一种清洁且可再生的能源利用方式,在施工过程中面临着系列质量与安全的挑战。从地质勘察到热能提取,再到设备安装及安全管理,各个环节的质量控制均起着至关重要的作用。通过对常见问题的分析与相应控制措施的提出,突显了技术创新与科学管理在保障工程顺利实施中的核心地位。随着技术的不断进步及管理手段的持续优化,未来的中深层地热工程不仅将在提升资源利用效率方面取得显著成效,还将进一步推动可持续发展的实现。

[参考文献]

- [1]武晓光,黄中伟,李根生,等.地热工程跨学科集成课程建设研究[J].教育信息化论坛,2024(7):3-5.
 - [2]张志刚.油田水文地质勘探和地热工程设计[J].西部探矿工程,2021,33(8):184-186.
 - [3]本刊讯.《地热工程学》正式出版[J].地质装备,2020,21(4):10.
- 作者简介:杨悦(1990.1—),毕业院校:西安理工大学高科学院,所学专业:工程管理,当前就职单位:西咸新区盛源裕能科技发展有限公司,职称级别:工程师;高玉辉(1982.9—),毕业院校:中南林业科技大学,所学专业:道路与桥梁专业,当前就职单位:陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司,职称级别:工程师;党嵬(1990.12—),毕业院校:华北电力大学科技学院,所学专业:热能与动力工程,当前就职单位:陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司,职称级别:工程师。