

浅谈地热井钻探工艺及方法

赵 勇

山西省煤炭地质水文勘查研究院有限公司 山西 太原 030006

摘 要：本文深入探讨了地热井钻探的基本概念、主要工艺及方法，包括泥浆正循环钻探工艺、高压喷射钻探工艺、气举反循环钻探工艺以及地热井完井工艺。文章详细分析地热井钻探的安全与环保措施，强调了在钻探过程中必须严格遵守安全管理规定，并采取有效的环境保护措施。通过江苏省扬州市深层地热资源钻探项目的成功案例，展示我国在地热钻探技术方面的实力和推动清洁能源利用的成果。该项目的成功不仅满足当地居民供暖需求，还促进节能减排和产业升级，为地热能的广泛应用提供有力支撑。

关键词：地热井；钻探工艺；钻探方法；地热资源

引言：随着全球对清洁能源需求的日益增加，地热资源作为一种清洁、可持续的能源形式，正受到越来越多的关注和开发。地热井钻探技术作为地热资源开发利用的关键环节，其工艺和方法的选择直接影响到地热井的开采效率和成本。本文将深入探讨地热井钻探的基本概念、主要工艺及方法，分析钻探过程中的安全与环保措施，并通过具体案例分析展示我国在地热钻探技术方面的实力和成果。以期为地热能的广泛应用提供技术支持和参考，推动清洁能源的进一步发展。

1 地热井钻探的基本概念

1.1 地热井的定义

地热井，是指为了开发和利用蕴藏在地球内部的地热能资源而进行的钻探工程所形成的井眼，地热井深度不等，可以根据具体热能类型和储藏特点来设计钻探的深度，通常情况下，地热井可以采集出高温水或者高压蒸汽，这些能量源经过处理和转换，可以用来供暖、发电、医疗浴疗等多种用途。地热井不仅仅是采集能源的一种技术手段，更是一种与自然和谐相处、清洁且可持续利用地热能资源的重要体现。通过地热井开采利用的地热能资源，凭借其清洁能源和环保特性的显著优势，被认为是未来全球能源结构中一个极为重要的补充部分。不同地区地热能的埋藏形式及其所处的地质环境直接影响地热井的类型及开发技术，这就需要专业人事先通过详尽的地质勘察和水文地质测试来确定；地热井通常需要定期进行维护和检修，确保其开采过程中的效能与安全性。因为地热能一旦经过科学合理的开发和运用，往往能为所在地带来巨大的经济利益，同时还可以作为一种稳定的替代能源减少传统能源的依赖和污染物的排放。

1.2 地热资源的主要特性

第一，地热资源的一个显著特点是它的存储量大和分布广泛。根据科学家们的研究，地球内部的巨大热能源自早期的宇宙起源过程和内部放射性物质的衰变过程，这些热能通常以各种形式分布在地下岩石和水体中。这就意味着在全球范围内，只要有相应的技术手段和设备，理论上几乎所有地区都有开采地热能的可能。特别是在一些特定的地质构造如断层、火成岩地区或者活火山带等地热活动较频繁的地方，地热资源的储藏更加丰富，更容易开发利用。第二，地热资源的可再生性和持续性也很强。相比传统化石能源在消耗后的不可再生，地热能来自地球内部漫长的积累过程，基本上是无穷无尽的。尤其是在人类合理且不过度开发的前提下，地热资源的利用率可以做到相对高，同时对地质和环境的影响较小。这也是为什么许多国家积极投入到地热发电和地热能应用领域研究的一个重要原因。地热能不会对环境产生污染物排放，可以有效减少对气候变化和温室气体排放的贡献，与实现全球低碳可持续发展目标高度契合^[1]。第三，地热资源的稳定可靠和分布多样的特性使其成为一种极佳的替代能源。不论是炎热的赤道地区还是寒冷的极地地区，都能根据不同地层的特点找到合适的热储层加以开发。相比风能和太阳能常常受限于地理和气候变化的问题，地热能的输出在年度范围内是非常稳定和持续的。这也是它优于很多可再生能源类型的关键优势。一旦地热井建成后，只要在适当维护和更新的情况下，基本可以保证几十年甚至更长时间的高效率运转。这为工业生产、日常生活等方面都提供了极为有利的能源条件。

2 地热井钻探的工艺及方法

2.1 泥浆正循环钻探工艺

泥浆正循环钻探工艺是地热井钻探中的核心方法之

一，它通过泥浆泵将泥浆从地表注入钻杆内部，泥浆在钻杆与孔壁之间形成环状空间向下流动，到达孔底后，经钻头的喷嘴以高压喷射出来，冲刷井底并携带破碎的岩石屑返回地表。此过程中，泥浆发挥着多重作用：冷却钻头、清洗井底、携带岩屑以及保护井壁，防止其坍塌。泥浆的性能和循环系统的稳定性是此工艺的关键。优质泥浆需具备良好的流动性、稳定性和护壁性能，能在高温、高压的地下环境中保持稳定的物理和化学性质，循环系统的稳定性则依赖于泥浆泵、钻杆、钻头等设备的定期检查和维修，确保泥浆顺畅循环。在实际钻探中，需根据地质条件调整钻探参数。地层较软时，应降低钻压和转速；地层较硬时，则需增加钻压和转速。然而，施工过程中也存在安全隐患，如泥浆泄漏、钻杆断裂等。遇到此类情况，应立即停止钻探，检查并修复设备，确保安全后再继续作业。

2.2 高压喷射钻探工艺

高压喷射钻探工艺利用高压泵提高井底水力能量，使泥浆高速喷射冲刷井底，助力钻头破碎岩石。该工艺具有钻进速度快、钻屑排出能力强、井底清洁度高等优点。同时，它能减少钻头的重复破碎，提高利用率。然而，高压喷射钻探工艺也面临地层裂隙发育、渗透性强导致的泥浆漏失问题。为克服这一局限，需选用优质泥浆，并在泥浆中加入防漏剂；优化喷嘴设计、加强钻头耐磨性和强度也是有效手段；在实际应用中，该工艺常与泥浆正循环钻探工艺结合，形成泥浆正-反循环联合钻探工艺，进一步提高钻进效率。但需注意，高压喷射可能引发设备故障或人员伤害，因此需定期检查设备、加强安全防护。

2.3 气举反循环钻探工艺

气举反循环钻探工艺利用压缩空气驱动泥浆循环，具有钻进效率高、岩屑排出能力强、井底清洁度高等优点。此工艺对泥浆性能要求较低，可使用清水或低固相泥浆，降低钻探成本。在实际应用中，需选择合适的压缩空气压力和流量，确保泥浆顺畅上升并携带岩屑返回地表^[2]。同时，需定期检查和维修钻杆、钻头等设备，注意泥浆的消耗量和补充量。为提高钻进效率，可优化压缩空气注入方式和位置，加强钻头耐磨性和强度，采用双壁钻杆等先进设备。然而，气举反循环也可能引发设备故障或人员伤害，因此需加强安全防护，如设置安全警示标志、佩戴防护装备等。遇到特殊情况，如压缩空气泄漏、泥浆循环不畅等，应立即停止钻探，检查并修复设备。在复杂地质条件下，还需制定应急预案，确保施工安全和顺利进行。

2.4 地热井完井工艺

完井工艺包括固井、射孔、洗井等多个环节，每个环节都需严格操作和精细管理。固井过程中，需向井眼内注入水泥浆并等待其凝固，形成坚固的井壁和套管之间的密封层。此过程中需选择合适的水泥浆配方和注入压力，确保水泥浆充分填充间隙并达到足够的强度和密封性。然而，固井过程中也存在安全隐患，如水泥浆泄漏、套管破裂等。遇到此类情况，应立即停止固井作业，检查并修复设备；射孔过程中，需使用射孔枪对套管进行射孔，形成与地热储层相通的通道。此过程中需选择合适射孔枪和射孔参数，并加强安全防护，防止射孔枪误射或发生其他意外事故。洗井是地热井完井工艺的最后一步，也是确保地热井高效利用的关键环节，通过向井内注入清水或特制清洗液，并对井进行抽吸和冲刷，可清除井内杂质。此过程中需选择合适清洗液和冲洗参数，并注意人员安全和设备保护；遇到特殊情况，如井内堵塞、清洗液泄漏等，应立即停止洗井作业，检查并修复设备。

3 地热井钻探的安全与环保措施

地热井钻探是一项复杂且具有一定风险性的工程，因此在钻探过程中必须严格遵守安全管理规定，并采取有效的环境保护措施，以确保工程的安全顺利进行，同时最大限度地减少对周围环境的负面影响。

3.1 钻探过程中的安全管理

在地热井钻探过程中，安全管理是至关重要的。

(1) 风险评估与预防：在钻探工作开始之前，应对整个工程进行全面的风险评估，识别出可能存在的安全隐患和危险源。根据风险评估结果，制定相应的预防措施和应急预案，确保在发生紧急情况时能够迅速有效地应对^[3]。

(2) 人员培训与资质审核：所有参与钻探工作的人员都应接受系统的安全培训，熟悉钻探过程中的安全操作规程和应急处理方法。同时，对操作人员的资质进行严格审核，确保他们具备相应的专业技能和安全意识。(3) 设备检查与维护：钻探设备的安全性和稳定性直接关系到钻探过程的安全。因此，在钻探前应对设备进行全面的检查和维护，确保设备处于良好的工作状态。在钻探过程中，还需定期对设备进行巡查和维护，及时发现和处理潜在的安全隐患。(4) 现场安全管理：钻探现场应设置明显的安全警示标志和防护设施，确保工作人员和周边居民的安全；建立严格的安全管理制度，明确各级人员的安全职责和权限，确保安全管理工作的有序进行。(5) 应急响应机制：建立有效的应急响应机制，包括应急救援队伍、应急救援物资和应急救援预案等。在

紧急情况下,能够迅速启动应急响应机制,进行紧急救援和处理,最大限度地减少损失。

3.2 环境保护措施

地热井钻探过程中可能会对环境造成一定的影响,因此必须采取有效的环境保护措施来降低负面影响。

(1) 泥浆处理与循环利用:钻探过程中产生的泥浆含有大量的有害物质,如果直接排放到环境中会对土壤和水体造成污染。因此,应对泥浆进行处理和循环利用,减少泥浆的排放量和污染程度。同时,还应加强泥浆处理过程中的环境监测和管理,确保泥浆处理符合环保要求。(2) 噪声与振动控制:钻探过程中产生的噪声和振动会对周边环境造成干扰和破坏。因此,应采取有效的噪声与振动控制措施,如设置隔音屏障、使用低噪声设备、合理安排施工时间等,减少对周边居民的干扰和影响。(3) 废弃物处理:钻探过程中产生的废弃物包括废泥浆、废钻屑、废旧设备等。这些废弃物如果处理不当会对环境造成污染。建立完善的废弃物处理体系,对废弃物进行分类收集、储存、运输和处理。对于有害废弃物,应委托专业机构进行无害化处理或安全处置。(4) 生态恢复与补偿:钻探工程可能会对周边的生态环境造成一定的破坏。因此,在钻探结束后,应采取有效的生态恢复措施,如植树造林、植被恢复等,以恢复周边的生态环境。同时,还可以考虑对受损生态环境进行补偿,如支付生态补偿费用、开展生态保护项目等。

4 地热井钻探的案例分析

在江苏省扬州市,一项旨在开发利用深层地热资源的钻探项目成功实施,为当地乃至整个江苏地区的清洁能源利用提供新途径。该项目地热井钻探深度达到3500米,目标储层为古近纪新近纪地层中的中高温热水资源。钻探过程中,项目团队采用先进的钻探技术和设备,包括泥浆正循环钻探工艺和金刚石钻头,确保了钻探的顺利进行^[4]。在钻探至预定深度后,通过地质勘探

和温度监测,发现该地层水温达到85℃,地热流体富含矿物质,具有极高的开发利用价值。据统计,该地热井预计年可开采地热资源量达到50万立方米,能够满足周边地区数千户居民的供暖需求,每年可节约标煤约1.5万吨,减少二氧化碳排放约3.8万吨。另外,地热资源的开发还带动当地经济的发展,促进就业和产业升级。该项目的成功实施,不仅展示了我国在地热钻探技术方面的实力,也为推动清洁能源利用、实现绿色低碳发展提供有力支撑。未来,随着技术的不断进步和政策的持续支持,地热资源的开发利用将有望在全国范围内得到更广泛的应用和推广。

结束语

综上所述,地热井钻探工艺及方法的选择与优化对于地热资源的开发利用至关重要。通过采用先进的钻探技术和设备,严格的安全管理和环保措施,可以有效地提高地热井的钻探效率和产能,同时减少对环境的负面影响。未来,随着技术的不断进步和政策的持续支持,地热资源有望在全国范围内得到更广泛的应用和推广,为实现绿色低碳发展和可持续利用能源目标作出重要贡献。

参考文献

- [1] 战启帅,宋天培.YR1地热井断层性漏失封堵技术[J].钻探工程,2021,48(11):71-75.DOI:10.12143/j.ztgc.2021.11.011.
- [2] 樊腊生,贾小丰,王贵玲,等.雄安新区D03地热勘探井钻探施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):13-22.DOI:10.12143/j.tkgc.2020.10.003.
- [3] 靳廷朝.气举反循环技术在地热钻井中的应用[J].地质装备,2021,22(4):35-40.DOI:10.3969/j.issn.1009-282X.2021.04.008.
- [4] 朱岩华.关于我国地热井钻探工艺的研究与探讨[J].科技经济导刊,2020,26(03):54-55.