

新型地质钻探技术在地热资源开发中的应用研究

梁培文

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037000

摘要：新型地质钻探技术在地热资源开发中展现出巨大潜力。研究聚焦于金刚石复合片PDC钻头、绳索取心钻杆及全液压力钻机等技术的应用，显著提升了地热井钻探效率与深度，降低了成本，并增强了复杂地质条件下的适应能力。这些创新技术优化了地热资源开发方案，促进了资源可持续利用，对能源结构转型和环境保护具有积极影响，为地热资源的高效、安全开发提供了有力支持。

关键词：新型地质钻探技术；地热资源开发；应用

引言：随着全球对清洁能源需求的日益增长，地热资源作为一种清洁、可再生的能源，其开发利用受到广泛关注。然而，地热资源的有效开发面临诸多技术挑战。本文旨在探讨新型地质钻探技术在地热资源开发中的应用，通过介绍这些技术的特点与优势，分析其对提高钻探效率、降低成本及增强地质适应性等方面的影响，为推动地热资源的可持续开发提供科学依据和技术支持。

1 地热资源概述

1.1 地热资源基本概念与分类

地热资源，是地球内部蕴藏的巨大热能，主要包括干热岩、温泉和地热蒸汽等形式。其中，干热岩是指温度超过180°C、不含或仅含少量流体的高温岩体，其蕴藏的热能具有巨大的开发潜力。温泉则是地热流体在地表自然出露的产物，广泛用于旅游、疗养和温泉洗浴等领域。地热蒸汽则主要用于地热发电，通过高温蒸汽推动汽轮机转动，实现地热能向电能的转换。

1.2 地热资源的分布与潜力

(1) 全球及我国地热资源的地理分布。全球地热资源分布广泛，主要集中在环太平洋火山带、地中海-喜马拉雅地热带和大西洋中脊等区域。我国地热资源同样丰富，主要分布在西藏、云南、四川、广东等地。这些地区地热活动强烈，地热资源储备量巨大。(2) 地热资源的储量评估与开发前景。据初步估算，全球地热资源储量巨大，能够满足人类数千年的能源需求。在我国，地热资源的储量同样可观，开发利用潜力巨大。随着技术的进步和政策的支持，地热资源的开发成本逐渐降低，开发效率不断提高，未来开发前景广阔。

1.3 地热资源开发的经济与环境意义

(1) 作为清洁能源的优势。地热资源是一种清洁、可再生的能源。与化石燃料相比，地热资源在利用过程

中不会产生有害物质，对环境友好。同时，地热资源的开发成本相对较低，具有长期稳定性，能够为经济发展提供稳定的能源保障。(2) 对减少碳排放的贡献。地热资源的开发利用对于减少碳排放具有显著意义。替代化石燃料的使用，可以减少温室气体排放，从而有效缓解全球气候变化。此外，地热资源的开发还有助于促进能源结构的优化，推动能源产业的可持续发展。

2 地质钻探技术基础

2.1 传统地质钻探技术回顾

(1) 回转钻探：这是地质钻探中最常用的一种方法。它利用钻头的旋转运动，通过切削和研磨岩石来实现钻孔。回转钻探适用于各种地层，钻进效率高，岩心采取质量好，是矿产资源勘探和地质科学研究的重要手段。(2) 冲击钻探：这种方法利用钻头的上下冲击运动来破碎岩石。它适用于硬岩和复杂地层，特别是当岩石硬度较高或地层存在裂隙时，冲击钻探的效果尤为显著。然而，冲击钻探的钻进速度相对较慢，且对设备的磨损较大。(3) 振动钻探：振动钻探利用振动器产生的振动波将能量传递给钻头，从而实现岩石的破碎。这种方法具有钻进速度快、对地层扰动小的优点，但在复杂地层中钻进时，可能会出现卡钻等问题。

2.2 新型地质钻探技术的兴起与发展

(1) 金刚石复合片PDC钻头：PDC钻头以多晶金刚石复合片为切削齿，具有高硬度、高耐磨性、高抗冲击性和高热稳定性，能够适应各种复杂的地层条件。它的出现极大地提高了钻进效率和岩心采取质量，降低了钻探成本。(2) 绳索取心钻杆：绳索取心钻杆技术通过绳索取心装置，实现了在不提升整个钻杆柱的情况下提取岩心的目的。这种方法有效降低了劳动强度，提高了钻进效率和岩心的完整性。同时，它还减少了钻杆与孔壁的摩擦，延长了钻杆的使用寿命。(3) 全液压力头岩心

钻机：全液压力头岩心钻机采用液压传动系统，具有操作简便、钻进效率高、适应性强等优点。它的动力头可以实现无级调速，确保钻进时钻压稳定，减少了孔内事故的发生。此外，全液压力头岩心钻机还具有较高的自动化程度，减轻了工人的劳动强度。（4）多功能钻机：多功能钻机是一种集多种钻探功能于一体的综合性机械设备。它可以根据不同的钻探需求和地质条件，快速调整钻探方式和参数，提高了钻探作业的灵活性和适应性。多功能钻机在矿产资源勘探、地质灾害治理等领域具有广泛的应用前景^[1]。

2.3 新型地质钻探技术的特点与优势

（1）提高钻探效率与降低成本：金刚石复合片PDC钻头、绳索取心钻杆等技术的应用，显著提高了钻进效率和岩心采取质量，降低了钻探成本。同时，全液压力头岩心钻机和多功能钻机的使用也提高了钻探作业的自动化程度和灵活性，进一步降低了成本。（2）增强对复杂地质条件的适应能力：新型地质钻探技术具有更强的适应性和灵活性，能够应对各种复杂地层和钻探需求。无论是硬岩、软岩还是复杂地层，新型钻探技术都能提供有效的钻探解决方案。此外，新型钻探技术还具有较低的地层扰动性和较高的岩心完整性，为地质科学研究和矿产资源勘探提供了更准确的数据支持。

3 新型地质钻探技术在地热资源开发中的应用

3.1 新型钻探技术在地热井钻探中的应用实例

（1）科拉超深钻孔经验借鉴与教训总结。科拉超深钻孔是前苏联时期进行的一项深地科学钻探项目，虽然其主要目标是地质科学研究，但其钻探过程中的技术挑战和解决方案对于地热井钻探同样具有借鉴意义。科拉超深钻孔在面对极端深度下的高温高压环境、岩石硬度变化以及钻杆稳定性等问题时，采用了多种创新技术，如金刚石复合片钻头的应用、高温稳定泥浆的研发以及先进的钻探工艺。然而，该项目也暴露出一些教训，如钻探深度的增加导致成本急剧上升、钻探过程中地质情况的复杂性超出预期等。这些经验和教训为地热井钻探提供了宝贵的参考，即在追求钻探深度的同时，必须充分考虑技术可行性、成本效益和地质风险。（2）高功率毫米波钻探技术（波钻）在地热资源开发中的前景。高功率毫米波钻探技术是一种利用毫米波能量对岩石进行加热、软化和破碎的新型钻探方法。该技术具有钻探效率高、对岩石类型适应性强、环境污染小等优点。在地热资源开发中，波钻技术可以通过精确控制毫米波能量的输出，实现对地热储层岩石的有效破碎，从而提高钻探速度和精度。此外，波钻技术还有望降低钻探过程中

的能耗和碳排放，符合绿色、低碳的能源开发理念。随着技术的不断进步和成本的逐步降低，高功率毫米波钻探技术在地热资源开发中的应用前景广阔。

3.2 新型钻探技术对地热资源开发效率的提升

（1）提高钻探深度与精度。新型地质钻探技术如金刚石复合片钻头、绳索取心钻杆以及先进的钻探工艺等，能够显著提高地热井钻探的深度和精度。金刚石复合片钻头具有高硬度、高耐磨性和高抗冲击性能，能够在极端地质条件下保持较高的钻进速度和岩心采取率。绳索取心钻杆技术则能够实现无提升钻杆情况下的岩心提取，降低了钻探过程中的摩擦阻力和能耗。先进的钻探工艺如旋转冲击钻进、超声波钻进等，能够根据不同地质条件灵活调整钻进参数，提高钻探效率和精度^[2]。（2）优化地热井布局与开采方案。新型钻探技术的应用不仅提高了钻探效率，还为地热井的布局和开采方案提供了更加科学的依据。通过精确的地质调查和地球物理勘探，可以了解地热储层的分布、形态和物性特征，为地热井的布局提供可靠依据。同时，利用先进的钻探技术和监测手段，可以实时监测地热井的钻进过程和地质情况，及时调整开采方案，确保地热资源的可持续利用。

3.3 新型钻探技术在特殊地质条件下的应用策略

（1）冻土、海洋、冰川等特殊地质条件下的钻探技术。在冻土、海洋和冰川等特殊地质条件下进行地热井钻探，需要采用针对性的钻探技术和策略。在冻土地区，可以采用加热钻探技术融化冻土，降低钻探阻力；同时研发耐寒性能更强的钻探材料和设备，以适应极低温度环境下的长期稳定运行。在海洋环境中，可以利用浮式钻井平台和水下钻探机器人等技术手段，提高钻探作业的稳定性和安全性。在冰川地区，需要采用灵活的钻探平台，结合冰川移动监测和预测技术，确保钻探作业的稳定进行。此外，针对这些特殊地质条件，还可以采用先进的钻探导航系统和实时监测技术，以精准定位钻探路径，及时调整钻探策略，应对复杂地质变化。（2）针对高温高压地热储层的钻探技术挑战与解决方案。高温高压地热储层是地热资源开发中的难点和关键。为了应对这一挑战，新型钻探技术如金刚石复合片PDC钻头、耐高温泥浆以及先进的钻探工艺应运而生。金刚石复合片PDC钻头能够在高温高压环境下保持高硬度和耐磨性，提高钻进速度和岩心采取率。耐高温泥浆则能够保持泥浆的稳定性和流动性，减少井壁失稳和钻杆磨损^[3]。同时，采用旋转冲击钻进、超声波钻进等先进工艺，能够适应不同硬度和脆性的岩石，提高钻探效率和成功率。

4 地热资源开发中的环境与安全考量

4.1 地热资源开发对地质环境的影响

地热资源的开发主要通过对地热储层进行钻探、开采和利用地热流体来实现。这一过程不可避免地会对地质环境产生一定影响,包括地面沉降、地震活动性等潜在风险。(1)地面沉降、地震活动性等潜在风险。地热资源的开采过程中,由于地热流体的大量抽取,地下水位会随之下降,导致土壤和岩石的压实和固结,进而引发地面沉降。地面沉降不仅会影响地表建筑物的稳定性和安全性,还可能对周边环境造成不可逆的损害。此外,地热开采还可能引发地震活动。地热开采过程中,地下岩石的应力状态会发生变化,当这种变化超过岩石的承受能力时,就会发生地震。虽然地热开采引发的地震通常震级较小,但频繁的小震也可能对地质环境造成累积性破坏。(2)环境监测与保护措施。为了降低地热资源开发对地质环境的影响,必须加强对地质环境的监测和保护。首先,应建立全面的地质环境监测体系,实时监测地面沉降、地震活动性等关键指标,及时发现并预警潜在风险。其次,应采取科学的地热资源开发方案,合理控制地热流体的抽取量和抽取速率,避免过度开采导致的地下水位急剧下降和地面沉降。此外,还应加强地质环境保护意识,采取必要的地质环境保护措施,如设立保护区、恢复性种植等,以减轻地热资源开发对地质环境的负面影响。

4.2 地热资源开发中的安全挑战与应对策略

地热资源的开发过程中,不仅存在地质环境方面的风险,还面临着高温高压环境下的钻探作业安全以及地热流体处理与利用中的安全隐患。(1)高温高压环境下的钻探作业安全。地热储层通常位于地下深处,温度和压力都非常高。在这种环境下进行钻探作业,对钻探设备和人员都构成了极大的挑战。为了保障钻探作业的安

全,必须采用耐高温高压的钻探设备和材料,同时加强钻探人员的安全防护和应急培训。此外,还应建立完善的钻探作业安全管理体系,明确责任分工,加强安全检查和监督,确保钻探作业过程中的各项安全措施得到有效执行^[4]。(2)地热流体处理与利用中的安全隐患。地热流体中通常含有较高的温度和压力,同时还可能含有腐蚀性物质和有毒气体。在处理和利用地热流体时,必须严格遵守操作规程和安全标准,防止泄露和污染。为了降低地热流体处理与利用中的安全隐患,可以采取以下措施:一是加强对地热流体的检测和分析,掌握其成分和特性;二是采用先进的处理技术和设备,确保地热流体在处理和利用过程中的安全性和稳定性;三是加强安全管理和风险控制,建立健全的安全管理制度和应急预案,提高应对突发事件的能力。

结束语

综上所述,新型地质钻探技术在地热资源开发中展现出了显著的优势和潜力。这些技术不仅提高了钻探效率和精度,降低了成本,还为地热资源的可持续开发提供了有力保障。未来,随着技术的不断创新和优化,新型地质钻探技术将在地热资源开发领域发挥更加重要的作用,为构建清洁、低碳、高效的能源体系贡献力量,助力实现全球能源转型和可持续发展目标。

参考文献

- [1]刘志龙,胡志明,邵炳松,等.探析地热资源勘查方法及地热钻探施工技术的运用[J].冶金管理,2020,(07):71-72.
- [2]周丽.地热资源勘查方法及地热钻探施工技术探析[J].城市建设理论研究(电子版),2021,(08):114-115.
- [3]夏敏.地热资源勘查方法及地热钻探施工技术探析[J].资源信息与工程,2020,(10):85-86.
- [4]马腾飞.地热资源勘查方法及地热钻探施工技术探析[J].地矿测绘,2020,(04):42-43.