

煤田地质超深孔钻探工艺

王 琪

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

摘 要：随着煤炭资源需求激增与浅层储量锐减，我国煤田勘探正加速向深部进军。本文聚焦煤田地质超深孔钻探工艺。首先概述该工艺，接着阐述其技术要点，涵盖施工设备选择与配置、钻进机具选用、钻具组合原则及泥浆参数合理选择等方面。随后分析工艺面临的挑战，如技术要求高、复杂情况难预知、地表水污染影响钻井液性能、深部钻井液漏失与孔壁坍塌风险、见煤取煤难度大等。最后提出应对策略，包括加强前期地质勘察、研发抗污染钻井液体系、采用先进护壁与堵漏技术、改进取煤工艺与工具等，为煤田地质超深孔钻探提供参考。

关键词：煤田地质；超深孔钻探；工艺技术；挑战与策略

引言：煤田地质勘探对于煤炭资源的开发利用至关重要，超深孔钻探工艺作为获取深层煤田地质信息的关键手段，其重要性日益凸显。随着煤炭资源需求的增长和开采深度的增加，超深孔钻探面临着诸多新问题与挑战。传统钻探工艺在应对超深孔复杂地质条件时，逐渐暴露出局限性。深入研究煤田地质超深孔钻探工艺，不仅有助于提升钻探效率与质量，降低钻探成本与风险，还能为煤炭工业的可持续发展提供坚实的技术支撑，因此开展相关研究具有重要的现实意义。

1 煤田地质超深孔钻探工艺概述

煤田地质超深孔钻探工艺是针对地下深层煤炭资源勘探与开发需求而发展的一项关键技术，其核心目标是通过高精度、高效率的钻探手段，获取深部地质信息并实现煤炭资源的安全开采。该工艺通常指钻孔深度超过3000米的钻探工程，需应对高温、高压、复杂地质构造等极端环境，对设备性能、技术工艺及人员操作均提出严苛要求。从技术分类看，超深孔钻探涵盖绳索取心、定向钻进、孔底动力钻进等先进工艺。其中，绳索取心技术通过钢丝绳直接提取岩心，大幅减少起下钻次数，提升作业效率；定向钻进工艺则通过智能调控钻头轨迹，实现精准钻探，尤其适用于深部煤层赋存条件复杂的区域。在设备配置方面，超深孔钻探需采用高强度轻合金钻杆、耐高温高压钻头及大功率泥浆泵等核心装备。例如，金刚石钻头因其高硬度、长寿命特性，成为深部硬岩钻探的首选；而复合聚合物泥浆体系则通过优化流变性、抑制性等参数，有效维护孔壁稳定，防止漏失与坍塌。同时，钻机需具备高扭矩、宽转速范围及精准压力调控能力，以适应不同地质条件下的钻进需求^[1]。

2 超深孔钻探工艺技术要点

2.1 施工设备的选择与配置

(1) 钻机。需选用大功率、高扭矩的钻机，以提供足够的动力克服深部地层的强大阻力，确保钻进顺利推进。同时，钻机要具备宽范围的转速调节能力，可根据不同地质条件灵活调整，适应从软到硬各种地层的钻进需求。此外，钻机的自动化程度也很关键，先进的自动化系统能够实现精准操作和实时监控，降低人工误差，提高钻探效率和安全性，保障超深孔钻探作业的稳定进行。(2) 钻塔。要选择强度高、稳定性好的钻塔，其材质通常采用优质钢材，以保证在承受巨大压力和复杂外力时不变形、不损坏。钻塔的高度需根据钻孔深度合理设计，确保有足够的空间进行钻杆的起下操作。而且，钻塔应具备良好的抗风能力和抗震性能，在恶劣的自然环境下仍能保持稳固，为钻探作业提供可靠的支撑，保障施工的连续性和安全性。(3) 泥浆泵。需选用排量、压力高的泥浆泵，以满足超深孔钻探时泥浆长距离循环的需求，确保泥浆能顺利到达孔底并返回地面。同时，泥浆泵的可靠性至关重要，要具备稳定的性能和较长的使用寿命，减少故障发生频率，避免因泥浆供应中断而影响钻探进度。此外，还应配备先进的泥浆处理系统，对泥浆进行净化和调配，保证泥浆性能符合钻探要求。

2.2 钻进机具的选用

(1) 钻杆。超深孔钻探中，钻杆是传递动力、输送泥浆的关键部件。要选用高强度、高韧性的合金钢钻杆，其具备良好的抗拉、抗压和抗扭性能，能承受深部地层巨大的作用力而不发生断裂或变形。同时，钻杆的连接方式要可靠，确保在频繁的起下钻过程中不会出现脱扣现象。此外，钻杆的内径设计需合理，以保证泥浆能够顺畅流通，有效冷却钻头并携带岩屑。而且，要根据不同的地质条件和钻进深度，合理选择钻杆的规格和长度，提高钻探效率和安全性。(2) 取心工具。在超深

孔钻探中,应选用可靠性高、取心率高的取心工具。例如,采用绳索取心工具,它可以在不提钻的情况下取出岩心,大大减少了起下钻的时间,提高了钻探效率。同时,取心工具的结构要合理,能够适应不同硬度和完整性的地层,保证岩心的完整性和代表性。此外,取心工具的材质要耐磨、耐腐蚀,以延长其使用寿命,降低钻探成本。(3)钻头。针对超深孔钻探中复杂多变的地层,要配备多种类型的钻头。对于软地层,可选用刮刀钻头,其结构简单、钻进速度快;对于中硬地层,牙轮钻头是较好的选择,它具有较好的适应性和耐磨性;而在硬地层和研磨性地层中,金刚石钻头则能发挥其高硬度、高耐磨的优势,提高钻进效率和钻头寿命。此外,要根据地层的实际情况及时调整钻头的参数,如转速、钻压等,以达到最佳的钻进效果。

2.3 钻具的组合原则与方法

钻具组合需遵循“安全、高效、适配”原则。安全上,要保证钻具强度足够,能承受超深孔钻探的复杂应力,避免断裂等事故。高效方面,依据地层特性组合钻具,如在软地层用大直径钻头搭配短钻杆,提高钻进速度;在硬地层则用小直径钻头配长钻杆,增强钻压传递效果。适配性要求钻具各部件连接紧密、尺寸匹配,确保泥浆循环顺畅。组合方法上,先根据孔深、地层选钻头,再依钻头特性配钻杆,最后用稳定器调整钻具刚性与导向性,保证钻进轨迹稳定。

2.4 泥浆参数的合理选择

(1)泥浆泵的主要参数选择。泥浆泵参数关乎泥浆输送效果。排量选择要满足超深孔钻探时携带岩屑、冷却钻头需求,依据孔径、钻速计算合适排量,排量过小岩屑难排出,过大则增加能耗。压力参数需根据孔深和地层阻力确定,孔越深、地层越硬,所需压力越大,以保证泥浆能到达孔底并有效循环。功率选择要综合考虑排量和压力,确保泥浆泵能稳定运行,为钻探提供可靠动力支持,保障泥浆系统正常工作。(2)泥浆的参数选择。泥浆参数影响钻探质量与安全。密度要依据地层孔隙压力和坍塌压力调整,防止井喷或井塌。粘度要适中,粘度低携岩能力差,粘度高则流动阻力大,影响钻速。失水量需严格控制,失水量过大易导致孔壁失稳。含砂量要低,否则会磨损钻具和孔壁。pH值应保持在合适范围,以维护泥浆性能稳定,防止对地层和钻具产生不良影响,通过合理调配泥浆材料来优化这些参数。

3 煤田地质超深孔钻探工艺面临的挑战

3.1 技术要求高,复杂情况不可预知

煤田地质超深孔钻探涉及多学科知识融合,对技术

要求极为严苛。在钻进过程中,需精确控制钻压、转速、泵量等参数,以适应不同地层的特性。然而,深部地质条件复杂多变,存在诸多不可预见的因素,如突然遇到断层、破碎带、高压地层等。这些复杂情况往往难以提前准确探测和判断,一旦出现,可能导致钻具损坏、卡钻、埋钻等严重事故,不仅影响钻探进度,还会增加钻探成本,甚至使整个钻探工程失败^[2]。

3.2 施工区域地表水污染影响钻井液性能

在煤田地质超深孔钻探施工区域,地表水可能受到工业废水、生活污水、农业面源污染等多种因素影响,水质较差。而钻井液对于钻探工程至关重要,其性能直接影响钻进效率和钻孔质量。受污染的地表水配制的钻井液,可能出现粘度不稳定、滤失量过大、携岩能力下降等问题。此外,水中的杂质还可能堵塞钻井液循环系统,损坏钻井设备,严重影响钻探工作的正常进行,给超深孔钻探带来极大的阻碍。

3.3 钻孔深部钻井液漏失与孔壁坍塌风险

随着钻孔深度的增加,地层压力和温度升高,地质条件更加复杂。深部地层往往存在裂隙、溶洞等渗漏通道,钻井液容易在这些部位发生漏失。钻井液漏失不仅会导致钻井液量不足,影响携岩和冷却钻头的效果,还会造成地层压力失衡,进而引发孔壁坍塌。孔壁坍塌会卡埋钻具,使钻探工作无法继续进行,甚至可能导致钻孔报废。而且,深部孔壁坍塌的处理难度极大,会给钻探工程带来巨大的经济损失和时间成本。

3.4 矿产资源埋藏深,见煤与取煤难度大

煤田矿产资源埋藏深度大是超深孔钻探面临的一大挑战。深部地层经历了漫长的地质作用,煤层的地质构造复杂,可能存在褶皱、断层、煤层变薄或尖灭等情况,这使得准确找到煤层的位置变得十分困难。即使找到了煤层,由于深部压力大、温度高,煤层的物理性质发生改变,变得松软、破碎,取心时煤心容易破碎、脱落,难以获取完整、具有代表性的煤样。这不仅影响对煤炭资源储量和质量的准确评估,也不利于后续的开采设计和生产。

4 煤田地质超深孔钻探工艺应对策略

4.1 加强前期地质勘察,制定科学钻探方案

煤田地质超深孔钻探前期,全面且精准的地质勘察是基石。综合运用地震勘探、电法勘探、地质测绘等多种技术手段,深入剖析施工区域的地层结构、岩性变化、断层与褶皱分布等。尤其要关注深部特殊地质体,如高压异常层、破碎带等,精确确定其位置、规模和性质。

基于勘察成果,结合钻探设备性能与技术能力,制

定科学合理的钻探方案。合理规划钻孔位置、深度、倾角及方位角,优化钻进工艺流程。针对不同地层,明确钻进方法、钻具组合和钻进参数。同时,制定详尽的应急预案,对可能出现的卡钻、井涌、井漏等事故提前规划应对措施。并且,建立动态调整机制,根据实际钻进情况及时修正方案,确保钻探工作高效、安全、有序推进,提高钻探成功率和资源勘探精度。

4.2 研发抗污染钻井液体系,保障钻井液性能稳定

煤田地质超深孔钻探中,施工区域地表水污染常影响钻井液性能。为此,需研发高效抗污染钻井液体系。深入研究污染物的成分和特性,针对性地添加特殊处理剂,如抗黏土污染剂、抗盐污染剂等,增强钻井液对各类污染物的耐受能力。优化钻井液配方,选用优质的基础液和添加剂,确保钻井液具有良好的流变性、润滑性和携岩能力。通过调整钻井液的密度、粘度和滤失量等参数,使其适应不同地层的需求。建立钻井液性能实时监测系统,定期取样分析,根据监测结果及时补充或调整处理剂,保证钻井液性能始终稳定在最佳范围。稳定的钻井液性能可有效冷却钻头、携带岩屑、稳定孔壁,为钻探工程提供可靠保障。

4.3 采用先进的护壁与堵漏技术,确保钻孔安全

深部钻孔面临钻井液漏失和孔壁坍塌的风险,采用先进护壁与堵漏技术至关重要。在护壁方面,选用高性能的护壁材料,如高分子聚合物护壁剂、纳米材料护壁剂等,在孔壁形成一层坚韧、致密的保护膜,增强孔壁的稳定性和抗冲刷能力。对于堵漏,根据漏失通道的大小和性质,采用不同的堵漏方法。对于微小裂缝漏失,可使用化学堵漏剂进行封堵;对于较大的溶洞或裂缝,可采用桥塞堵漏、凝胶堵漏等复合堵漏技术。同时,结合随钻测井和成像测井技术,实时监测钻孔状况,及时发现漏失和坍塌迹象,精准定位漏失位置,采取针对性措施进行处理。通过先进的护壁与堵漏技术,有效防止钻孔事故的发生,确保钻孔安全。

4.4 改进取煤工艺与工具,提高见煤与取煤成功率

深部煤层地质条件复杂,改进取煤工艺与工具是提高见煤与取煤成功率的关键。在取煤工艺上,采用定向钻进与绳索取心相结合的技术。定向钻进可精确控制钻孔轨迹,提高见煤率;绳索取心技术能快速、准确地取出煤心,减少起下钻时间,降低煤心在孔内的破碎风险。研发新型取煤工具,设计具有特殊结构和材质的取心钻头,提高钻头的破岩能力和耐磨性,确保能够顺利进入煤层。优化取心筒的设计,采用内缓冲装置和保形结构,减少煤心在提升过程中的振动和碰撞,保证煤心的完整性。此外,加强对取煤过程的监控和分析,根据实际情况及时调整工艺参数和工具组合,不断提高取煤质量和成功率,为煤炭资源的评估和开采提供准确可靠的依据^[3]。

结束语

煤田地质超深孔钻探工艺作为探寻地下煤炭资源的关键技术,在能源领域占据着举足轻重的地位。尽管当前在技术要求、钻井液性能、钻孔安全以及见煤取煤等方面面临着诸多挑战,但通过加强前期地质勘察、研发抗污染钻井液体系、采用先进护壁堵漏技术和改进取煤工艺工具等一系列应对策略,我们已取得了显著成效。未来,随着科技的不断进步,我们应持续创新钻探工艺,提升技术水平,以更高效、安全、精准的方式揭开深部煤田的神秘面纱,为保障国家能源安全、推动煤炭行业可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]孙贵生.张纯峰.煤田地质超深孔钻探工艺[J].中国煤炭地质,2021(01):57-61.
- [2]梁立峰.刘蕴锋.有关煤田地质超深孔钻探工艺的探究[J].民营科技,2021(06):39.
- [3]张寅.煤田地质超深孔钻探工艺[J].城市建设理论研究(电子版),2021(19):3176.