

定向岩心钻探中岩心定向精度影响因素分析

于增福

山东省核工业二四八地质大队 山东 青岛 266601

摘要: 定向岩心钻探技术在地质勘探、矿产资源开发等众多领域占据着举足轻重的地位,而岩心定向精度作为衡量钻探质量的核心指标,直接决定了所获取岩心信息的准确性与可靠性。本文深入且全面地剖析了定向岩心钻探中影响岩心定向精度的多方面因素,涵盖钻探设备与工具、地质条件、钻探工艺参数等多个维度,并针对这些影响因素提出了切实可行的改进措施与建议,旨在为提高定向岩心钻探的岩心定向精度提供具有高度指导性的理论参考与实践依据。

关键词: 定向岩心钻探; 岩心定向精度; 影响因素

1 引言

定向岩心钻探可沿预定轨迹精准钻进,获取深部岩心样本,是地质研究和矿产评估的重要手段。岩心定向精度直接影响信息的准确性,关乎地质构造判断与资源开发决策。然而,实际钻探中精度受多种因素影响。深入分析并有效控制这些因素,是提升钻探质量的关键。

2 钻探设备与工具对岩心定向精度的影响

2.1 钻机性能

2.1.1 稳定性: 钻机稳定性差会导致钻进过程中的振动和晃动,进而影响钻孔轨迹的精确度。老旧或设计不佳的钻机在面对硬岩层时容易出现卡钻、跳钻现象,造成钻孔壁受损或钻进方向改变,严重影响岩心定向精度。例如,卡钻产生的冲击力可导致钻孔壁局部损坏,而跳钻则会使钻头上下跳动,改变钻进方向。

2.1.2 扭矩输出: 不同地层要求钻机提供不同的扭矩输出。扭矩不足在钻进硬地层时会导致钻进速度缓慢甚至停滞,并可能使钻具弯曲,偏离预定方向;而过大的扭矩则可能导致钻头过度磨损或钻具损坏。例如,在钻进花岗岩等坚硬岩层时,需要足够的扭矩来破碎岩石,若扭矩不足或过大都会导致钻孔轨迹偏斜或不规则。

2.1.3 转速调节范围: 转速的选择对于钻孔轨迹至关重要。在软地层中,高转速可以提高效率,但过高会导致钻孔弯曲加剧;而在硬地层中,低转速有利于充分破碎岩石,但过低会使钻进速度变慢,增加偏差风险。例如,在泥岩等软地层中,过高的转速可能形成螺旋状轨迹;而在花岗岩等硬地层中,过低的转速则会使钻头反复研磨岩石表面,偏离预定方向。

2.2 钻具组合

2.2.1 钻杆: 钻杆需具备足够的强度和刚度以承受钻进过程中的各种力。强度不足会导致钻杆弯曲或断裂,

影响钻孔轨迹;刚度不足则引起弹性变形,使钻头偏离设计方向。合理选择钻杆长度也至关重要:过长增加柔性,难以控制钻孔轨迹;过短则需频繁连接,增加误差风险^[1]。在深孔钻进中,若钻杆的强度和刚度不够,随着深度增加,钻杆弯曲和变形加剧,导致钻孔轨迹严重偏离。

2.2.2 钻头: 不同地层应选用适合类型的钻头。金刚石钻头适用于硬岩层,因其硬度高、耐磨性强;硬质合金钻头适合中硬及以下地层,成本较低。错误的钻头选择会降低钻进效率并影响钻孔轨迹控制。例如,在花岗岩中使用硬质合金钻头,会导致钻进缓慢、钻孔弯曲等问题。钻头磨损也不可忽视,随钻进距离增加,钻头切削刃变钝,钻进阻力增大,不均匀磨损会使钻孔轨迹偏斜。

2.2.3 钻具连接与密封: 钻具连接必须牢固,否则可能出现松动或脱落,干扰钻孔轨迹连续性。螺纹松动使钻杆相对转动或移动,改变钻进方向。密封不良导致泥浆泄漏或压力不稳定,影响正常钻进。泥浆泄漏减少冷却效果、携带岩屑能力及地层压力平衡,造成钻孔壁不稳定,出现坍塌、缩径等现象,从而影响钻孔轨迹。压力不稳定使得钻具受力不均,进一步导致钻孔轨迹偏差。

2.3 定向测量仪器

2.3.1 陀螺测斜仪: 陀螺测斜仪是一种基于陀螺仪原理进行定向测量的仪器,具有测量精度高、不受外界磁场干扰等优点。但在实际使用过程中,仍然可能会受到一些因素的影响,导致测量误差。例如,陀螺仪自身的精度限制是影响测量结果的重要因素之一。尽管现代陀螺测斜仪的精度已经很高,但在长时间使用或经过多次测量后,其精度可能会逐渐下降。此外,测量操作不当也会影响测量结果。在测量过程中,如果仪器的安装位置不准确、测量时间不足或测量环境不稳定等,都可能导致测量的钻孔方位角和倾角出现偏差。例如,在安装

陀螺测斜仪时,若仪器未与钻孔轴线完全对中,会使测量结果产生系统误差;测量时间不足则可能导致陀螺仪未达到稳定状态,测量数据不准确。

2.3.2 磁性测斜仪:磁性测斜仪是利用地球磁场进行定向测量的仪器,具有结构简单、操作方便等优点。然而,它更容易受到周围磁场环境的影响。例如,当测量位置靠近高压电线、金属物体等时,这些物体产生的磁场会干扰地球磁场,导致测量数据不准确^[2]。此外,磁性测斜仪的精度还会受到温度、湿度等环境因素的影响。温度变化可能会导致仪器内部的磁性材料性能发生变化,从而影响测量精度;湿度过大则可能会使仪器内部电路受潮,导致测量误差。

2.3.3 仪器校准与维护:如果仪器长时间未校准或维护不当,其测量精度会逐渐下降,进而影响岩心定向精度。定期对测量仪器进行校准,可以确保其测量结果的准确性。校准过程中,需要使用标准仪器或已知精度的参考点对测量仪器进行比对和调整。同时,仪器的日常维护也不容忽视。定期对仪器进行清洁、检查和保养,可以及时发现并解决仪器存在的问题,延长仪器的使用寿命,保证其测量精度。

3 地质条件对岩心定向精度的影响

3.1 地层岩性

3.1.1 软弱地层:在软弱地层中,如泥岩、页岩等,钻进速度相对较快,但钻孔容易发生坍塌、缩径等现象,导致钻孔轨迹偏离预定方向。软弱地层的强度低,颗粒之间的粘结力弱,在钻具的振动和泥浆的冲刷作用下,钻孔壁容易失去稳定性。钻孔坍塌会使钻孔直径变大,钻具在钻孔内的活动空间增加,导致钻进方向难以控制;钻孔缩径则会使钻具与钻孔壁之间的摩擦力增大,钻具可能会在钻孔内发生弯曲,使钻孔轨迹偏离预定方向。例如,在泥岩地层中钻进时,由于泥岩遇水容易软化,在泥浆的浸泡下,钻孔壁可能会逐渐剥落,导致钻孔坍塌或缩径,影响岩心定向精度。

3.1.2 坚硬地层:在坚硬地层中,如花岗岩、石英岩等,钻进阻力大,钻头容易偏磨,同样会影响岩心定向精度。坚硬地层的硬度高,钻头在钻进过程中需要承受较大的压力和摩擦力。如果钻头的材质或结构不合理,钻头可能会偏向一侧,导致钻孔轨迹不规则。此外,坚硬地层中的岩石可能存在不均匀性,如节理、裂隙等发育,钻头在钻进过程中可能会沿着这些弱面偏移,使钻孔轨迹偏离预定方向。例如,在花岗岩地层中钻进时,若钻头的切削刃磨损不均匀,钻头可能会在钻孔内形成偏心钻进,导致钻孔轨迹弯曲。

3.2 地质构造

3.2.1 断层:断层是地层中常见的地质构造,它会使地层产状发生变化,增加钻孔轨迹控制的难度。在断层附近钻进时,由于地层错动,钻孔可能会沿着断层面偏移。断层面的倾角和走向不同,对钻孔轨迹的影响也不同。如果钻孔方向与断层面走向接近,钻孔很容易沿着断层面滑移,导致岩心定向出现偏差^[3]。此外,断层破碎带中的岩石破碎、松散,钻孔在该区域容易发生坍塌、卡钻等事故,进一步影响岩心定向精度和钻探效率。例如,在正断层附近钻进时,钻孔可能会沿着断面向下偏移;在逆断层附近钻进时,钻孔可能会沿着断面向上偏移。

3.2.2 褶皱:褶皱构造会使地层发生弯曲,若钻进方向与地层走向不一致,钻孔容易偏离预定轨迹。褶皱的形态和规模不同,对钻孔轨迹的影响也不同。在背斜构造中,钻孔如果从背斜的顶部或翼部钻进,由于地层向上弯曲,钻孔可能会沿着地层的弯曲方向偏移;在向斜构造中,钻孔如果从向斜的底部或翼部钻进,由于地层的向下弯曲,钻孔也可能会偏离预定方向。此外,褶皱构造中的地层可能存在层间滑动等现象,这也会增加钻孔轨迹控制的难度。例如,在一个大型的背斜构造中钻进时,如果钻孔方向与背斜轴向垂直,钻孔可能会在钻进过程中逐渐偏离原来的方向,沿着地层的弯曲趋势向一侧偏移。

3.3 地下水情况

3.3.1 泥浆性能影响:在富水地层中,地下水会与泥浆发生相互作用,影响泥浆性能。泥浆的比重、粘度等参数会发生变化,可能导致钻孔稳定性下降,影响岩心定向精度。例如,当地下水渗入钻孔时,会使泥浆的比重降低,无法有效地平衡地层压力,导致钻孔壁失稳,出现坍塌或缩径现象。同时,地下水的流动还可能携带泥浆中的固相颗粒,使泥浆的粘度下降,排渣能力减弱,增加钻具与孔壁的摩擦,影响钻孔轨迹。

3.3.2 地层力学性质改变:地下水的流动还可能改变地层的力学性质,使钻孔轨迹偏离预期。地下水渗透会使地层软化,降低地层的强度和稳定性。在软弱地层中,地下水的渗透可能会加剧地层的坍塌和变形,使钻孔轨迹更加难以控制。例如,在砂岩地层中,地下水的长期渗透会使砂岩颗粒之间的粘结力减弱,地层变得松散,钻孔在该地层中钻进时容易出现偏斜或坍塌。

4 钻探工艺参数对岩心定向精度的影响

4.1 钻压与转速

4.1.1 钻压影响:钻压过大将加剧钻头偏磨,导致

钻孔轨迹偏离。钻进时,钻头与岩石相互作用,若钻压不均,一侧切削刃磨损更快,使钻头偏向磨损较轻的一侧,造成轨迹偏斜。钻压不稳定同样影响岩心定向精度,钻压突然变化引发振动,改变钻头方向。例如,给进系统故障引起钻压突变,瞬间改变钻进方向。

4.1.2 转速影响:转速过高或过低都会影响钻进效率和质量。高速旋转增加钻头磨损并产生较大离心力,使摩擦力分布不均,导致钻孔轨迹偏移,还可能影响泥浆流动状态,降低排渣效果。转速过低则减慢钻进速度,难以精确控制钻孔轨迹。长时间摩擦会使钻头在岩石表面反复研磨,增加地层不均匀性、钻具自重等因素对钻孔轨迹的影响时间,提高偏移风险。

4.2 泥浆性能

4.2.1 粘度:泥浆粘度需合理控制,过高会导致排渣不畅和增加钻具与孔壁摩擦。高粘度泥浆流动阻力大,岩屑难以及时排出,堆积在钻孔底部影响钻头钻进,并增大钻具移动难度及轨迹偏离风险。例如,粘度过高会使钻具在提升或下放时受阻,导致钻进方向改变。

4.2.2 密度:泥浆密度应根据地层压力调整以平衡地层压力,防止钻孔坍塌或偏斜。密度过低无法抵抗地层流体压力,导致钻孔壁坍塌;密度过高则对钻孔壁施加过大压力,造成变形。例如,在高压地层中若泥浆密度不足,地层流体会涌入破坏钻孔壁稳定性;低压地层中泥浆密度过高则挤压钻孔壁致其弯曲。

4.2.3 失水量:失水量过大会使泥饼增厚,缩小钻孔直径并增大摩擦力,影响钻孔轨迹。泥饼不均匀增厚导致钻孔壁凹凸不平,钻头受力不均,使轨迹偏斜。例如,失水量大时形成的泥饼厚度不均,钻头可能偏向泥饼较薄侧,偏离预定方向。

5 改进措施与建议

5.1 设备与工具优化

应定期对钻机和钻具进行全面维护,建立维护档案,按说明书进行检查、清洁、润滑和更换磨损部件,及时淘汰老旧设备。例如,制定月度维护计划,检查液压、传动和电气系统;及时更换达寿限的钻杆、钻头。同时,应加大高精度定向测量仪器的研发力度,融合传感器、数据处理和通信技术,开发智能化设备,如具备自动校准、实时传输和远程监控功能的陀螺测斜仪,提升测量精度与施工效率。定期校准仪器,确保其性能稳

定可靠。

5.2 工艺参数优化

钻探前应详细调查地层岩性、构造及地下水情况,制定针对性钻探方案。例如,在软硬交错地层中,软层适当提转速、控钻压,硬层降转速、增钻压,防止孔弯和偏磨。通过现场试验持续优化参数,提升定向精度。同时推广自动化控制系统,实现钻压、转速、泥浆流量的实时调节。系统通过传感器获取钻进数据,自动调整参数,保持最佳钻进状态,减少人为误差,提高岩心定向可靠性。

5.3 实时监测与调整

安装钻孔轨迹在线监测系统,通过高精度传感器实时获取方位角、倾角、深度等数据并传输至监控中心。当钻孔轨迹偏离超过阈值时,系统自动报警提示调整钻进参数或采取纠偏措施。建立应急响应机制和详细预案,针对卡钻、塌孔等情况明确处理流程与责任分工,并定期组织演练以提升应急能力^[4]。例如,卡钻时使用震击器或调整泥浆性能解卡。强化质量管控,严格监督从钻具适配到岩心验收各环节,建立质量追溯体系记录操作详情,确保问题可追溯整改。在钻具适配中检查规格型号质量,在定向测量环节审核仪器校准与数据准确性,保障岩心定向数据可靠性。

结语

定向岩心钻探的精度受设备、地质条件、工艺参数等多因素影响。通过优化设备性能、精准调整参数、强化实时监测等手段,可有效提升精度。未来应加大研发投入,完善标准规范,加强人才培养,推动技术向高精度、高效率、环保方向发展。可组建跨学科团队,融合地质、机械、电子等领域人才,开展协同创新,为技术进步提供支撑。

参考文献

- [1]王小宝.岩心钻探技术在深层地质勘探中的研究与应用[J].中国金属通报,2024,(12):179-181.
- [2]王奎.复杂地层深孔岩心钻探关键技术应用研究[J].世界有色金属,2024,(07):193-195.
- [3]侯兴博.地质岩心钻探技术在矿产资源勘探中的应用[J].世界有色金属,2024,(03):160-162.
- [4]刘蓓,蔡正水,杨可,等.寨上金矿复杂地层深孔岩心钻探技术[J].钻探工程,2023,50(S1):240-245.