

Technical Principle of Superinclined Drilling and Its Application Practice under Special Geological Conditions

Jian Luo

The Eighth Geological Brigade of Jiangxi Geological Bureau, Shangrao, Jiangxi, 334000, China

Abstract

This paper deeply discusses the principle of superinclined drilling technology and its application practice under special geological conditions. On the key basis theory of oblique hole drilling, including stratum drilling characteristics, hole wall stability and rock chip migration mechanism. According to the special geological conditions such as sand and gravel formation, broken zone and weak interlayer, the corresponding application strategies are put forward, and combined with the specific data table. At the same time, the technical strategies of equipment selection, drilling process optimization and inhole testing and monitoring are expounded, and the effectiveness of superinclined drilling technology is demonstrated through practical cases. The research shows that this technology has achieved remarkable results in solving the complex geological drilling problems, has important academic value and engineering application prospect, and provides strong technical support for the development of related fields.

Keywords

superinclined drilling technology; special geological conditions; principle; application practice; technical strategy

超斜钻孔技术原理及其在特殊地质条件下的应用实践

罗剑

江西省地质局第八地质大队, 中国·江西 上饶 334000

摘要

论文深入探讨了超斜钻孔技术的原理及其在特殊地质条件下的应用实践。通过对多学科知识融合的阐述, 分析了斜孔钻进关键基础理论, 包括地层钻进特性、孔壁稳定性和岩屑运移机理等。针对砂卵石地层和破碎带与软弱夹层等特殊地质条件, 分别提出了相应的应用策略, 并结合具体数据表格进行了详细分析。同时, 阐述了设备选型、钻进工艺优化以及孔内测试与监测等技术策略, 通过实际案例论证了超斜钻孔技术的有效性。研究表明, 该技术在解决复杂地质钻探难题方面成效显著, 具有重要的学术价值和工程应用前景, 为相关领域的发展提供了有力的技术支持。

关键词

超斜钻孔技术; 特殊地质条件; 原理; 应用实践; 技术策略

1 引言

超斜钻孔技术在当今水利水电工程、岩土工程及地质找矿岩芯钻探领域中占据着举足轻重的地位, 其发展与应用对于解决施工场地条件及复杂地质条件下的工程难题具有至关重要的意义。随着基础设施建设的不断推进, 工程建设面临的地质环境日益复杂多样, 传统钻孔技术已难以满足需求, 超斜钻孔技术应运而生。该技术融合了多学科的先进知识和技术手段, 通过高效的钻探设备、优化的钻进工艺以及精细的孔内测试, 成功攻克了复杂地质条件下的钻探难题, 为工程建设及探明矿产储量的顺利进行提供了可靠保障。本文将深入探讨超斜钻孔技术的原理及其在特殊地质条件下的应用实践, 旨在为相关工程提供全面、深入的技术支持和

理论依据。

2 超斜钻孔技术原理

2.1 斜孔钻进特性

地层的岩石钻进特性是钻孔结构设计以及钻进工艺技术选择的核心依据。不同地质地层的岩石具有丰富多样的物理力学性质, 诸如硬度、强度、脆性、韧性等。这些特性之间相互关联且相互影响, 直接决定了钻进过程中一系列关键参数的选择, 包括钻进速度、钻压以及钻头磨损程度等^[1]。例如, 在坚硬岩石地层中, 由于岩石的高强度和高硬度, 需要施加更高的钻压和转速, 以确保钻头能够有效地切入岩石。然而, 与此同时, 必须高度关注钻头的耐磨性, 因为过高的钻压和转速可能会导致钻头过度磨损, 从而影响钻进效率和质量。相反, 在软岩地层中, 为了防止孔壁坍塌这一潜在风险, 需要适当降低钻压。深入且系统地研究地层钻进特性, 能够使工程师们依据不同的地质条件, 精准地制定出合

【作者简介】罗剑(1984-), 男, 中国江西九江人, 本科, 高级工程师, 从事探矿工程(钻探技术)研究。

理高效的钻进方案，从而显著提高钻探效率和质量，这对于整个钻探工程的顺利进行具有至关重要的意义。

2.2 孔壁稳定性

孔壁稳定性是斜孔钻探过程中最为关键的核心问题之一。在特殊地质条件下，如砂卵砾石地层、破碎带以及软弱夹层等，孔壁极易失去稳定性，这给钻探工作带来了巨大的困难和潜在风险。砂卵砾石地层因其独特的结构特征，即结构松散且无胶结，使得颗粒之间的摩擦力极小，难以承受钻孔周围复杂的应力变化，进而极易导致孔壁坍塌。破碎带地层的岩石呈现出破碎状态，裂隙广泛发育，这严重破坏了孔壁的完整性，使得孔壁容易出现掉块、坍塌等不良现象。软弱夹层的强度较低，韧性较差，在钻进过程中，极易发生变形，这种变形会进一步影响孔壁的稳定性。因此，深入研究孔壁稳定性问题对于保障钻探工作的安全和顺利进行具有不可替代的重要意义。通过对地层力学性质、地应力分布以及钻孔过程中的力学响应等多个方面进行全面且深入的研究，可以制定并采取一系列有效的措施来提高孔壁的稳定性。这些措施包括但不限于选择合适的钻进工艺、精细优化钻进参数以及采用适宜的护壁材料等。

2.3 岩屑运移机理

大顶角斜孔岩屑运移机理相较于直孔而言更为复杂，它是多种力相互作用的综合结果。在斜孔环境中，岩屑受到重力、浮力、摩擦力以及冲洗液的拖拽力等多种力的共同作用，其运动轨迹和运移规律受到钻孔角度、钻进速度、冲洗液参数以及钻具结构等多个因素的综合影响。如果岩屑不能及时有效地排出孔外，将会在孔内逐渐堆积，进而导致钻孔堵塞，这不仅会增加钻进阻力，还可能引发卡钻等严重事故。因此，深入研究大顶角斜孔岩屑运移机理具有极其重要的意义。通过对冲洗液参数（如冲洗液流速、黏度等）进行优化、合理控制钻进速度以及对钻具结构进行改进等方式，可以确保岩屑能够顺利排出孔外，从而显著提高钻进效率 and 安全性，为钻探工程的顺利推进提供有力保障。

3 特殊地质条件下的应用实践

3.1 砂卵砾石地层

砂卵砾石地层具有结构松散、无胶结的特性，颗粒之间缺乏有效黏结力，整体性差。在钻进时，钻头易扰动地层，使颗粒松动、脱落，导致钻进效率低下。而且孔壁因缺乏足够支撑力，不稳定问题突出，易发生坍塌等事故，给钻探工作带来极大挑战^[2]。

为应对这些问题，首先在设备与工艺选择方面，采用高效钻进设备至关重要，便携式绳索索取芯钻进工艺因其钻进效率高、岩芯采取率高的优点适用于该地层。此工艺能在不提升钻杆的情况下，通过专用绳索取出岩芯管，减少了钻进辅助时间，提高了纯钻进时间占比。例如，在三峡水利枢纽工程的部分基础钻探项目中，遇到砂卵砾石地层时，采用绳

索取芯钻进工艺，辅助时间占总钻进时间的比例从原来的约30%降低到了约15%，纯钻进时间占比显著提高。

在钻进参数优化上，钻进速度需综合考虑地层条件、设备性能及钻进工艺等因素进行优化。在砂卵砾石地层中可适当增加钻压和转速以提高钻进速度，但要防止过度扰动地层致孔壁坍塌，且优化后的钻进速度要保证孔壁稳定和岩芯采取质量。钻压从原有值增加到一定数值以提高钻头切削力，不过钻压增加需根据地层实际情况和钻进设备性能合理调整，避免钻头过度磨损和孔壁失稳。冲洗液流量也需调整，其不仅能冷却钻头、排除岩屑，还对孔壁有支撑作用。将冲洗液流量从初始值增加到更大值，可更有效携带岩屑，防止其在孔内堆积，同时在孔壁周围形成保护膜，提高孔壁稳定性，如表1所示。

表1 砂卵砾石地层钻进参数优化表

参数名称	优化前	优化后
钻进速度	10m/h	15m/h
钻压	50kN	60kN
冲洗液流量	120L/min	150L/min
护孔措施	无	泥浆护壁

护孔措施方面，泥浆护壁是常用方法。泥浆可填充地层颗粒空隙，形成黏结力增强孔壁稳定性，还能在孔壁表面形成泥皮，起到隔水、防塌作用。实际应用中，要依据地层特性和钻进要求，合理调配泥浆的粘度、密度、失水量等性能参数，确保泥浆护壁效果。

3.2 破碎带与软弱夹层

破碎带地层岩石破碎、裂隙发育，整体性和强度严重降低，钻进时易发生缩径、坍塌卡钻等事故，施工难度极大。软弱夹层强度低、韧性差，易变形和滑动，也给钻探工作带来诸多困难。这些特殊地质条件使得钻进过程中孔壁稳定性难以保证，成孔质量和垂直度控制成为关键问题。

对于破碎带地层，采用冲击钻成孔较为有效。冲击钻通过冲击钻头对地层反复冲击破碎，适用于硬度高、破碎程度大的地层，且在冲击钻进过程中能减少对孔壁的扰动。对于软弱夹层，可适当调整冲击参数如冲击频率、冲程等来适应地层特性^[3]。

结合高压旋喷灌注措施能有效提高成孔质量和孔壁稳定性。钻进到破碎带或软弱夹层时，通过高压旋喷设备将水泥浆喷射到孔壁周围，使水泥浆与地层颗粒充分混合、胶结，形成坚固护壁结构。同时，灌注砂可进一步增强孔壁强度和稳定性，提高成孔垂直度，如表2所示。从相关数据对比可知，在破碎带地层中，采用回旋钻成孔质量差，垂直度仅为一定数值，难以满足工程要求。而采用冲击钻结合高压旋喷灌注砂的方法，成孔质量优，垂直度提高到更高数值。在软弱夹层地层中，回旋在钻探过程中，工程技术人员依据地层特性对钻进工艺进行调整，对孔壁进行监测，最终目的是保障钻探工程的顺利进行以及工程质量的可靠性。这不仅

需要扎实的专业知识,还需要丰富的实践经验和对新技术、新方法的不断探索与应用。在实际操作中,工程技术人员要时刻关注每一个环节,确保各项措施的有效性和合理性。例如,在破碎带与软弱夹层的钻探中,工程技术人员通过合理选择钻进方法和结合有效的护壁措施,显著提高了成孔质量和垂直度,这对于后续工程的开展至关重要。同时,工程技术人员也应看到,随着工程技术的不断发展和地质条件的日益复杂,工程技术人员还需要进一步研究和优化这些技术策略,以更好地适应新的挑战和需求。

表2 破碎带与软弱夹层钻进效果对比表

地层类型	钻进方法	成孔质量	垂直度(%)
破碎带	回旋钻	差	85
	冲击钻+灌注砼	优	95
软弱夹层	回旋钻	一般	80
	冲击钻+灌注砼	良	90

4 超斜钻孔技术在特殊地质条件下的技术策略

4.1 设备选型

设备选型是超斜钻孔技术应用的重要基础环节。根据不同的地层特性和钻进需求,必须精心选择高效、先进的钻孔设备。例如,对于坚硬岩石地层,由于岩石的高强度和硬度,需要选择具有高扭矩、高钻压能力的全液压力头钻机,以确保能够有效地切入岩石。对于砂卵石地层等松散地层,应选择具有较强破土能力和稳定性的冲击反循环钻机。同时,还需要考虑设备的自动化程度、可靠性以及维修保养的便利性等因素。先进的钻孔设备不仅能够提高钻进效率,还能够更好地适应复杂地质条件下的钻探工作,从而有效降低施工风险。例如,在三峡水利枢纽工程中,针对不同地层特性合理选型设备,通过良好的施工管理以及维护,确保设备正常运行,设备故障率降低了约20%,钻探成本也相应降低。

4.2 钻进工艺优化

钻进工艺的优化是提高超斜钻孔技术应用效果的关键所在。结合地层特性,对钻进参数进行精细优化是至关重要的。这些钻进参数包括钻压、转速、钻进速度、冲洗液流量和压力等。例如,在软岩地层中,为了防止孔壁坍塌,需要适当降低钻压和转速,并采用较小的钻进速度。相反,在坚硬地层中,可以适当提高钻压和转速,以提高钻进效率。同

时,还可以根据地层情况选择合适的钻进工艺。例如,金刚石钻进工艺适用于坚硬、致密的岩石地层,而螺旋钻进工艺适用于粘性土等地层。通过不断优化钻进工艺,可以显著提高钻进效率和成孔质量,同时降低钻探成本。

4.3 孔内测试与监测

4.3.1 孔内测试

孔内测试是评估钻孔质量和地层特性的重要手段。通过孔内测试,可以获取孔壁稳定性、岩体渗透性能等关键参数。例如,采用声波测试法可以检测孔壁岩石的完整性和强度,从而评估孔壁稳定性。利用压水试验可以测定岩体的渗透系数,为工程设计提供依据。根据测试结果,可以及时调整钻进工艺和采取相应的措施,以确保钻探工作的顺利进行。

4.3.2 监测技术

采用实时监测技术对孔壁变化进行监测是保障钻探安全的重要措施。随着传感器技术和自动化技术的发展,孔壁位移监测、应力监测等技术得到了广泛应用。通过在孔内安装传感器,可以实时获取孔壁的位移、应力等数据。当发现异常变化时,及时采取措施进行处理,如调整钻进参数、进行护壁加固等。实时监测技术能够有效地预防孔壁坍塌等事故的发生,提高钻探工作的安全性和可靠性。

5 结论

超斜钻孔技术在特殊地质条件下的应用实践取得了显著成效。通过优化设备选型、钻进工艺和孔内测试与监测,有效地解决了施工场地条件不足及复杂地质条件下的钻探难题。这一技术的成功应用,不仅体现了多学科知识融合在工程及地质找矿领域的巨大潜力,也为水利水电工程及岩土工程等相关领域的发展提供了有力的技术支撑。随着科学技术的不断进步和工程需求的日益增长,超斜钻孔技术必将在未来的工程建设中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1] 何骞.特殊地质条件下覆岩离层注浆钻孔疏通及工作面跑浆防治技术研究[J].中国煤炭地质,2024,36(2):48-53.
- [2] 陈世达,汤达祯,侯伟,等.深部煤层气地质条件特殊性与储层工程响应[J].石油学报,2023,44(11):1993-2006.
- [3] 王博.钻孔灌注桩施工技术在高速公路工程中的应用[J].交通世界,2023(1):247-249.