

# 钻探技术在复杂地质条件下的应用挑战与解决方案

王云

山西豪正森资源环境规划设计有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v8i1.2110

**[摘要]** 地质矿产勘察工作对于国家资源开发与经济发展至关重要,钻探技术作为其中的关键环节,在复杂地质条件下面临着诸多挑战。本文深入剖析了复杂地质条件给钻探技术带来的孔壁稳定、漏失、高温高压环境以及地层压力预测与监测等方面的难题,并针对性地提出了优化钻探设备、改进钻井液体系、加强地质预测与监测、创新钻探工艺等解决方案,旨在提高钻探技术在复杂地质条件下的应用水平,推动地质矿产勘察工作的高效开展。

**[关键词]** 钻探技术; 复杂地质条件; 地质矿产勘察; 应用挑战; 解决方案

中图分类号: P634.8 文献标识码: A

## Challenges and Solutions for the Application of Drilling Technology in Complex Geological Conditions

Yun Wang

Shanxi Haozhengsen Resources and Environment Planning and Design Co., Ltd.

**[Abstract]** Geological and mineral exploration is crucial for national resource development and economic growth. As a key component of this process, drilling technology faces numerous challenges in complex geological conditions. This paper delves into the difficulties posed by complex geological conditions to drilling technology, including borehole wall stability, fluid loss, high-temperature and high-pressure environments, as well as formation pressure prediction and monitoring. It also proposes targeted solutions such as optimizing drilling equipment, improving drilling fluid systems, enhancing geological prediction and monitoring, and innovating drilling techniques, aiming to improve the application level of drilling technology in complex geological conditions and promote the efficient conduct of geological and mineral exploration work.

**[Key words]** Drilling technology; Complex geological conditions; Geological and mineral exploration; Application challenges; Solutions

### 引言

地质矿产勘察是获取地下矿产资源信息、评估资源储量和确定开发方案的重要手段。钻探技术作为地质矿产勘察的核心方法,能够直接获取地下岩芯样本,为地质分析提供准确依据。然而,随着地质矿产勘察工作的不断深入,面临的复杂地质条件日益增多,如深部地层、破碎带、高温高压环境等,给钻探技术的应用带来了前所未有的挑战。因此,深入研究钻探技术在复杂地质条件下的应用挑战,并探索有效的解决方案,具有重要的现实意义。

### 1 钻探技术概述

钻探技术是指利用一定的设备和工具,在岩层或土层中钻孔,以获取地下地质信息、岩心样本,或进行地下资源开发、工程建设等作业的一种技术手段。它是地质勘探、石油天然气开采、矿产资源开发、水利水电工程、建筑工程等众多领域不可

或缺的基础技术。在地质矿产勘察中,钻探技术在复杂地质条件下的应用具有极其重要的意义,主要体现在以下三个方面:

#### 1.1 精确获取矿体信息,指导矿产开发

复杂地质条件下的矿产勘察往往面临诸多挑战,如矿体埋藏深、形态复杂、与围岩界限不清等。钻探技术能够直接穿透覆盖层,深入矿体内部,获取矿芯样本,从而精确了解矿体的赋存状态、规模、品位以及空间分布等关键信息。这些信息对于评估矿产资源的开发价值、制定科学合理的开采方案具有决定性作用。通过钻探,可以明确矿体的可采范围,避免盲目开采导致的资源浪费和安全隐患,提高矿产开发的效率和效益。

#### 1.2 验证地质模型,优化勘察方案

在地质矿产勘察中,地质模型的建立是基于地表地质调查、物探、化探等多种手段的综合分析。然而,这些手段往往只能提供间接的地质信息,其准确性和可靠性需要钻探来验证。通过钻

探获取的实际地质资料,可以与地质模型进行对比分析,验证模型的准确性,发现模型中存在的问题和不足。基于钻探结果,可以及时调整和优化勘察方案,提高勘察的针对性和有效性,降低勘察成本和风险。

### 1.3 推动矿产勘察技术创新,解决复杂地质问题

复杂地质条件下的矿产勘察对钻探技术提出了更高的要求。为了满足这些需求,钻探技术不断创新和发展,如定向钻探、绳索取芯钻探、反循环钻探等先进技术的应用,大大提高了钻探的效率和准确性。同时,钻探技术还与其他高科技手段相结合,如地质雷达、测井技术等,形成了综合勘察体系,为解决复杂地质问题提供了有力支持。这些技术创新不仅推动了矿产勘察技术的发展,也为地质科学研究提供了宝贵的实践经验和数据支持。

## 2 复杂地质条件分析

复杂地质条件是指在地质矿产勘察过程中,由于地质构造复杂、地层岩性多变、地下水文地质条件复杂等因素,导致钻探工程难以顺利进行的地质环境。常见复杂地质条件类型如下:

### 2.1 破碎带与断层

破碎带和断层是地质构造运动的结果,其内部岩石破碎、裂隙发育,给钻探工程带来了极大的困难。在破碎带和断层中钻探时,容易出现孔壁坍塌、掉块、卡钻等事故。

### 2.2 软弱地层

软弱地层如泥岩、页岩等,其岩石强度低、胶结性差,在钻探过程中容易出现孔壁失稳、缩径等现象,影响钻探效率和质量。

### 2.3 硬岩地层

硬岩地层如花岗岩、玄武岩等,其岩石硬度高、可钻性差,对钻探设备的磨损严重,且钻进速度较慢。

### 2.4 含水地层

含水地层在钻探过程中容易出现涌水、漏水等现象,影响钻孔的稳定性和钻探效率。同时,含水地层中的地下水还可能对钻探设备和冲洗液造成腐蚀和污染。

### 2.5 高温高压地层

随着钻探深度的增加,地下温度和压力也逐渐升高。在高温高压地层中钻探时,钻探设备的强度和密封性面临严峻考验,且冲洗液的性能也需要相应调整以适应高温高压环境。

## 3 钻探技术在复杂地质条件下的应用挑战

在地质矿产勘察中,钻探技术是获取地下地质信息、探明矿产资源的重要手段。然而,在复杂地质条件下,钻探技术面临着诸多挑战,这些挑战不仅增加了勘察难度,还影响勘察结果的准确性和可靠性。以下将从孔壁稳定、漏失、高温高压环境以及地层压力预测与监测四个方面详细阐述钻探技术在复杂地质条件下应用的挑战。

### 3.1 孔壁稳定问题

孔壁稳定是钻探过程中至关重要的环节,尤其在复杂地质条件下,孔壁稳定问题更为突出。复杂地层往往具有多变性,如破碎地层、软硬互层等,这些地层在钻探过程中容易因地质因

素、工程因素或物理化学因素导致孔壁失稳。具体如下:(1)地质因素。复杂地层中的岩层往往具有不同的物理力学性质,如强度、硬度、弹性模量等差异较大。当钻头穿过这些地层时,容易破坏岩层的原始平衡状态,导致孔壁坍塌。例如,在软硬互层中,软岩层在钻头作用下容易发生塑性变形,而硬岩层则可能发生脆性破裂,两者相互作用下,孔壁稳定性难以保证。(2)工程因素。钻探过程中的钻压、转速、冲洗液性能等工程参数对孔壁稳定性也有重要影响。钻压过大或转速过高可能导致钻头对孔壁的过度冲击,从而引发孔壁坍塌。此外,冲洗液的选择和使用也至关重要,不合适的冲洗液可能无法有效护壁,甚至加剧孔壁失稳。(3)物理化学因素。复杂地层中的地下水、矿物质等成分可能与冲洗液发生物理化学作用,导致孔壁岩石性质发生变化。例如,某些矿物质遇水膨胀或溶解,可能削弱孔壁的稳定性。同时,冲洗液中的化学成分也可能对孔壁岩石产生腐蚀作用,进一步加剧孔壁失稳。

### 3.2 漏失问题

漏失是钻探过程中常见的复杂情况之一,尤其在裂隙发育的地层中更为严重。漏失不仅会导致冲洗液大量流失,增加钻探成本,还可能引发孔壁坍塌等次生灾害。具体来讲:(1)裂隙发育地层。在复杂地质条件下,地层中往往存在大量裂隙、溶洞等地质构造。这些地质构造为冲洗液提供了渗漏通道,导致冲洗液在钻进过程中大量漏失。例如,在火成岩地层中,由于岩浆活动形成的裂隙网络发达,冲洗液漏失现象尤为严重。(2)冲洗液性能。冲洗液的性能对漏失问题也有重要影响。冲洗液的黏度、密度、滤失量等参数直接影响其在裂隙中的流动性和封堵能力。若冲洗液黏度不足或密度过低,可能无法有效封堵裂隙,导致漏失加剧。(3)钻探工艺。钻探工艺参数如钻压、转速、泵量等也对漏失问题产生影响。钻压过大或泵量过高可能导致冲洗液在裂隙中的流动速度加快,从而加剧漏失。此外,钻进速度过快可能导致钻头对孔壁的冲击加剧,引发孔壁坍塌并进一步加剧漏失。

### 3.3 高温高压环境

随着钻探深度的增加,地下温度和压力逐渐升高,形成高温高压环境。高温高压环境不仅增加了钻探设备的负荷,还可能对钻探液性能、钻头的关键部件产生不利影响。具体如下:(1)钻探设备负荷增加。高温高压环境下,钻探设备的各个部件承受着更大的压力和温度载荷。例如,钻杆、钻头、泥浆泵等部件在高温高压环境下容易发生变形、磨损甚至失效,从而增加钻探难度和成本。(2)钻探液性能变化。高温高压环境可能导致钻探液性能发生变化,如黏度降低、滤失量增加等。这些变化不仅影响钻探液的护壁和携屑能力,还可能对钻头产生腐蚀作用,进一步加剧钻探难度。(3)钻头磨损加剧。高温高压环境下,钻头与岩石的相互作用更加剧烈,导致钻头磨损加剧。磨损严重的钻头不仅影响钻进速度,还可能导致孔壁质量下降,增加后续勘察工作的难度。

### 3.4 地层压力预测与监测

地层压力预测与监测是钻探过程中至关重要的环节,尤其在复杂地质条件下更为关键。准确预测和监测地层压力有助于制定合理的钻探方案,避免井喷、井塌等事故。例如:(1)地层压力预测难度增加。复杂地质条件下,地层压力分布往往具有不规则性和多变性。传统的地层压力预测方法可能无法准确反映实际地层压力情况,导致钻探过程中面临更大的不确定性。(2)监测手段局限性。目前地层压力监测手段主要包括钻井液参数监测、页岩钻屑参数监测、测井等。然而,在复杂地质条件下,这些监测手段可能受到地层性质、钻井液性能等因素的影响,导致监测结果不准确。(3)地层压力异常。复杂地质条件下,地层压力异常现象更为常见。例如,在断层、裂隙发育区域,地层压力可能出现局部升高或降低现象。这些异常地层压力不仅增加了钻探难度,还可能引发井喷、井塌等事故。

## 4 解决方案

### 4.1 高性能泥浆的应用

高性能泥浆是应对复杂地质条件下孔壁稳定、漏失等问题的重要手段。通过优化泥浆配方和性能,可以显著提高孔壁稳定性,减少漏失现象。具体如下:(1)优化泥浆配方。根据复杂地层的特性,选择合适的泥浆体系。例如,在破碎地层中,可以采用高比重、粗分散的防塌泥浆体系,通过提高泥浆密度和黏度来增强孔壁的稳定性。同时,可以加入适量的化学固壁剂,如硅酸钠等,进一步巩固孔壁。(2)提高泥浆性能。通过添加高性能的处理剂,如增黏剂、降失水剂、页岩抑制剂等,可以显著提高泥浆的性能。增黏剂可以提高泥浆的黏度,增强其对孔壁的支撑能力;降失水剂可以减少泥浆的滤失量,防止泥浆在孔壁形成厚泥皮;页岩抑制剂可以抑制页岩的水化膨胀,保持孔壁的稳定性。(3)实时调整泥浆性能。在钻探过程中,根据地层变化和钻进情况实时调整泥浆性能。例如,当遇到漏失地层时,可以及时调整泥浆的黏度和密度,以封堵裂隙和溶洞;当遇到高温高压地层时,可以选择耐高温高压的泥浆体系,以保证泥浆的性能稳定。

### 4.2 改进钻头设计

钻头是钻探过程中的关键部件,其性能直接影响钻进速度和孔壁质量。通过改进钻头设计,可以显著提高钻探效率和质量。具体如下:(1)采用新型钻头材料。随着材料科学的不断发展,新型钻头材料不断涌现。例如,采用超声波电镀技术制造的金刚石钻头,不仅提高了钻头的耐磨性和钻进速度,还延长了钻头的使用寿命。此外,还可以采用新型合金材料、陶瓷材料等制造钻头,以适应不同地层的钻进需求。(2)优化钻头结构。根据复杂地层的特性,优化钻头的结构参数。例如,在软硬互层中,可以采用具有不同切削角度和布局的钻头,以适应不同硬度的岩层。同时,还可以在钻头上设置排屑装置、排屑通道等结构,以提高钻进效率和孔壁质量。(3)应用智能钻头技术。随着电子技术和计算机技术的发展,智能钻头技术逐渐应用于钻探领域。

智能钻头可以实时监测钻进过程中的各种参数,如钻压、转速、扭矩等,并根据这些参数自动调整钻头的钻进策略。此外,智能钻头还可以配备传感器和控制系统,以实现远程控制和自动化钻进。

### 4.3 先进钻探技术的应用

先进钻探技术是应对复杂地质条件下钻探挑战的重要手段。通过采用先进的钻探设备和技术,可以显著提高钻探效率和质量。具体如下:(1)自动化智能化钻机。自动化智能化钻机是近年来钻探技术发展的重要方向。自动化智能化钻机可以实现对钻探过程的全面监控和控制,提高钻探的精度和效率。例如,自动化智能化钻机可以根据地层变化和钻进情况自动调整钻压、转速等参数,以保证钻进过程的稳定性和安全性。(2)新型中深孔钻机。新型中深孔钻机具有更大的钻进深度、更高的钻进速度和更好的孔壁质量。例如,采用全液压力动力头岩芯钻机、新型中深孔钻机等先进设备,可以实现对深部矿产资源的有效勘察。同时,这些设备还配备了先进的冲洗系统和钻头设计,以适应复杂地质条件下的钻进需求。(3)随钻测量与导向技术。随钻测量与导向技术是钻探过程中的关键技术之一。通过随钻测量系统,可以实时监测钻进过程中的各种参数,如井斜、方位、地层压力等。同时,通过导向系统,可以实现对钻进方向的精确控制,避免井斜和方位偏差。这些技术不仅提高了钻探的精度和效率,还降低了钻探过程中的风险。

## 5 结束语

综上所述,科技持续进步为钻探技术带来显著变革。自动化与智能化成为核心趋势,依托自动化控制及人工智能技术,钻探设备正迈向全面自动化,实现钻进、提钻及事故处理等功能的自动化,显著提升作业效率与安全性。高效化与绿色化理念融合,促使高效钻探工艺与设备研发,提高钻进速度与岩心采取率,同时注重环保,采用环保钻井液、降低噪音粉尘排放,推动钻探作业向绿色可持续方向前进。此外,钻探技术与地质学、材料科学、电子技术、信息技术等多学科交叉融合,为钻探理论创新与方法突破提供强大支持,推动技术与应用效果不断优化。展望未来,在多学科协同创新与科技进步推动下,钻探技术将持续完善发展,为资源勘探开发、环境保护与可持续发展做出更大贡献。

## [参考文献]

- [1]卫鹏飞.钻探技术在煤矿水害防治工作中的应用[J].当代化工研究.2021,(13).040:11.
- [2]刘翼维.复杂地层中底板梳状钻孔抽采技术的应用研究[J].能源与节能.2024,(9):17.083:15.
- [3]鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].2001.

## 作者简介:

王云(1986—),男,汉族,山西大同人,大学本科,高级工程师,研究方向:地质矿产。