

# 岩芯钻探技术在深孔钻探中的应用

田 勇

河北省煤田地质局第二地质队（河北省干热岩研究中心） 河北 邢台 054000

**摘要：**随着资源勘探向地球深部进军，深孔钻探成为获取地下信息的关键手段。本文聚焦岩芯钻探技术在深孔钻探中的应用。首先阐述岩芯钻探技术的定义与原理，强调其在深孔钻探中的重要性。接着详细介绍具体应用，包括常见钻探方法如硬质合金、金刚石、钢粒钻进；钻具选择与应用，如单动双管、绳索取芯钻具等；钻孔轨迹控制技术，涵盖重要性、测量方法及控制工具；冲洗液技术，涉及作用、类型选择和性能维护；还包含岩芯采取与处理技术，如采取率影响因素、现场处理保存及分析应用，为深孔钻探提供技术参考。

**关键词：**岩芯钻探；技术；深孔钻探；应用

**引言：**在地质勘探、矿产资源开发以及各类地下工程领域，深孔钻探是一项极为关键的技术手段，它能够深入地下获取宝贵的地质信息与样本。而岩芯钻探技术作为深孔钻探中的核心方法，其重要性不言而喻。通过岩芯钻探，可获取完整、准确的岩芯样本，为后续的地质分析、资源评估等提供坚实依据。随着深孔钻探不断向更深、更复杂地层推进，对岩芯钻探技术也提出了更高要求。深入研究岩芯钻探技术在深孔钻探中的应用，对于提高钻探效率、保障钻探质量、推动相关领域发展具有重大意义。

## 1 岩芯钻探技术概述

### 1.1 岩芯钻探技术的定义与原理

岩芯钻探技术是通过回转钻进方式，利用环状钻头破碎岩石并提取柱状岩芯，以研究地下地质情况的钻探方法。其核心原理在于通过钻机驱动钻柱（含钻杆、取心钻具等）传递钻压和回转扭矩，使钻头以切削、磨削或冲击方式破碎岩石。钻进过程中，泥浆泵将冲洗液注入钻柱内循环至钻头唇面，冷却钻头并携带岩屑经环状间隙返回地表，形成连续钻进条件。该技术可根据岩层特性选择不同钻进方法：硬质合金钻进适用于中硬地层，通过碳化钨切削具破碎岩石；金刚石钻进利用人造金刚石微粉的高硬度特性，实现高效钻进；钢粒钻进则通过循环钢粒的冲击作用破碎岩石，适用于深孔复杂地层。

### 1.2 岩芯钻探技术在深孔钻探中的重要性

在深孔钻探中，岩芯钻探技术是获取地下地质信息的关键手段。以深部找矿为例，中国深部找矿钻探深度普遍达1500米，部分钻孔超过2000米，此类深度下，岩芯是唯一可直接验证矿产资源埋深、质量及储量的实物依据。例如，中国自主研发的YDX-6型钻机可执行3500米钻探任务，国机集团XD-40DB型电传动钻机在渭河盆

地深钻计划中实现岩芯完整率超95%，为矿产资源评估提供了高精度数据支撑。此外，深孔岩芯还承载着地球演化信息，如万米以深岩芯可记录5亿年地质体系，通过分析其物质组成、流体包裹体等，可完善深地油气地质理论，推动超深层油气勘探开发<sup>[1]</sup>。

## 2 岩芯钻探技术在深孔钻探中的具体应用

### 2.1 深孔钻探中的常见钻探方法

#### 2.1.1 硬质合金钻进

硬质合金钻进是深孔钻探中应用广泛的方法之一。它以碳化钨等硬质合金作为钻头切削具，通过钻机带动钻头回转，对岩石进行切削破碎。该方法适用于中硬及以下地层，如砂岩、页岩等。其优势在于钻头制造工艺相对简单，成本较低，且在不同地层中具有一定的适应性。在钻进过程中，通过合理控制钻压、转速和泵量等参数，可有效提高钻进效率。例如，在钻进中硬砂岩时，适当增加钻压能增强切削力，加快钻进速度。不过，硬质合金钻头耐磨性有限，在坚硬地层中磨损较快，需频繁更换钻头，这在一定程度上限制了其在超硬地层深孔钻探中的应用。

#### 2.1.2 金刚石钻进

金刚石钻进是深孔钻探中高效、优质的方法。它利用人造金刚石的高硬度和高耐磨性，将金刚石颗粒镶嵌在钻头体上作为切削刃。在钻进时，钻头以高速回转切削岩石，能实现高速、低钻压钻进。该方法适用于各类坚硬地层，如花岗岩、石英岩等，可获得较高的钻进效率和岩芯采取率。例如，在深孔钻探坚硬岩层时，金刚石钻进速度可比硬质合金钻进提高数倍。同时，金刚石钻头磨损小，使用寿命长，降低了钻探成本。但金刚石钻头价格较高，且对钻机性能和操作技术要求较严格，需配备高精度的钻机设备和熟练的操作人员。

### 2.1.3 钢粒钻进

钢粒钻进是深孔钻探中一种独特的钻进方法。它依靠循环系统将钢粒作为磨料，通过钻头内腔投放到孔底，在钻头回转和钻压作用下，钢粒对岩石进行冲击和研磨破碎。该方法适用于中硬到坚硬地层，尤其在大口径深孔钻探中具有一定优势。钢粒钻进能根据地层变化调整钢粒投放量和钻进参数，灵活性较高。在钻进过程中，钢粒可反复使用，降低了材料消耗。然而，钢粒钻进也存在一些缺点，如孔底工作环境复杂，钢粒分布不均匀会影响钻进效率。

## 2.2 深孔钻探中的钻具选择与应用

### 2.2.1 单动双管钻具

单动双管钻具是深孔钻探中保障岩芯质量的关键装备。其结构特点为内、外双层钻管，外管与钻杆同步回转，内管则通过轴承实现单动，有效减少钻具回转对岩芯的二次破坏。在钻进过程中，冲洗液经内外管间隙循环，携带岩屑从环状空间返回地表，而岩芯则被保留在内管中。该钻具尤其适用于破碎、松软地层，如煤层、构造裂隙发育带等，可显著提高岩芯采取率和完整性。但需注意，其结构复杂导致加工成本较高，且对钻孔垂直度要求严格，需配合高精度钻机使用以避免卡钻等事故。

### 2.2.2 绳索取芯钻具

绳索取芯钻具通过钢丝绳直接提取内管实现不提钻芯，大幅提升了深孔钻探效率。其核心部件为可分离式双层钻杆，内管装满岩芯后，通过地面绞车下放打捞器将其提出，外管则继续留在孔内维持钻进状态。该方法在硬岩地层中优势显著，如金刚石绳索取芯钻进速度可达普通钻进的2-3倍，且减少了提下钻次数，降低了孔壁坍塌风险。以金属矿深孔勘探为例，采用绳索取芯技术可使单孔作业周期缩短30%以上。但该技术对钻杆密封性、内管定位精度要求极高，且初期设备投入较大，需配备专业操作团队维护。

### 2.2.3 其他特殊钻具

针对复杂深孔地质条件，特殊钻具发挥着不可替代的作用。反循环钻具通过双壁钻杆形成负压，使岩屑沿中心管快速上返，适用于松散地层快速钻进，如砂砾石层中可实现日进尺50米以上。定向钻具集成测斜与导向功能，通过弯接头或液动锤调整钻进方向，在油气井水平井施工中可精确控制井眼轨迹，偏差率控制在0.5%以内。此外，空气潜孔锤钻具利用压缩空气驱动锤体冲击破碎岩石，在缺水地区或透气性岩层中效率突出，如石灰岩地层钻进速度比泥浆循环提高4-6倍。这些特殊钻具的针对性应用，有效拓展了深孔钻探的技术边界。

## 2.3 深孔钻探中的钻孔轨迹控制技术

### 2.3.1 钻孔轨迹控制的重要性

在深孔钻探中，钻孔轨迹控制至关重要。深孔钻探往往需穿越复杂多变的地层，若钻孔轨迹偏离设计路线，会导致诸多严重问题。一方面，可能无法准确到达目标地质体，使勘探工作失去意义，无法获取关键的地质信息，影响资源评估与开发决策。另一方面，偏离的钻孔可能钻遇危险地层，如高压水层、断层破碎带等，引发孔内事故，如井喷、卡钻等，不仅造成设备损坏，还会延误工期，增加成本。此外，不准确的钻孔轨迹会给后续的工程施工带来困难，如隧道掘进、地下管线铺设等，降低工程的安全性与可靠性。

### 2.3.2 常用的钻孔轨迹测量方法

常用的钻孔轨迹测量方法有多种。随钻测量（MWD）技术能在钻进过程中实时获取钻孔的方位、倾角等参数，通过安装在钻具上的传感器将数据传输至地面，及时调整钻进方向，测量精度较高且时效性强。陀螺测斜仪利用陀螺仪的定轴性和进动性原理，可独立测量钻孔的方位和倾角，不受外界磁场干扰，适用于各种复杂地层，但测量时需起下钻，效率相对较低。磁性测斜仪基于地球磁场原理，通过测量钻孔轴线与地球磁场的夹角来确定方位和倾角，操作简便、成本较低，但在强磁性地层中测量误差较大<sup>[2]</sup>。

### 2.3.3 钻孔轨迹控制技术与工具

钻孔轨迹控制技术与工具不断发展。螺杆钻具是常用的控制工具，它靠高压泥浆驱动转子旋转，带动钻头破碎岩石，通过改变弯外壳角度可调整钻进方向，实现定向钻进，在油气井、地质勘探深孔中广泛应用。液动锤与螺杆钻具结合，在冲击破碎岩石的同时进行定向钻进，提高钻进效率，尤其适用于硬地层。此外，智能导向钻井系统集成多种传感器和控制系统，能实时监测和自动调整钻孔轨迹，根据地层变化自动优化钻进参数，实现高精度的轨迹控制。

## 2.4 深孔钻探中的冲洗液技术

### 2.4.1 冲洗液的作用

在深孔钻探中，冲洗液发挥着多方面关键作用。首先，它具有冷却钻头的作用，钻进时钻头与岩石剧烈摩擦产生大量热量，若不及时冷却，钻头会因温度过高而迅速磨损甚至失效，冲洗液循环带走热量，延长钻头使用寿命。其次，冲洗液能携带岩屑，将钻进过程中产生的岩粉、碎块等从孔底带到地表，保持孔底清洁，保证钻进工作顺利进行。再者，它可平衡地层压力，防止孔壁坍塌和井涌等事故发生，起到稳定孔壁的作用。此

外，冲洗液还能传递钻压，辅助钻具破碎岩石，并且对钻具起到润滑作用，减少钻具与孔壁之间的摩擦阻力，降低能耗，提高钻进效率。

#### 2.4.2 冲洗液的类型及选择

冲洗液主要分为清水、泥浆和化学冲洗液等类型。清水冲洗液成本低、来源广，适用于完整、致密、水敏性弱的地层，如石灰岩等。泥浆冲洗液是在水中加入黏土和化学处理剂配制而成，具有良好的悬浮、携带岩屑和稳定孔壁能力，常用于松散、破碎及水敏性地层。化学冲洗液则是通过添加各种化学处理剂，如降滤失剂、增黏剂等，来改善性能，适用于复杂地层和特殊钻进工艺。选择冲洗液时，需综合考虑地层岩性、孔深、钻进方法等因素。例如，在深孔钻进坚硬致密地层时，清水可能满足要求；而在松散破碎地层，则需选用性能良好的泥浆或化学冲洗液。

#### 2.4.3 冲洗液性能的维护与调整

在深孔钻探过程中，需对冲洗液性能进行实时维护与调整。要定期检测冲洗液的密度、黏度、含砂量、失水量等性能指标。若密度过高，会增加钻进阻力，降低钻速，可通过加水稀释或加入降密度剂来调整；若黏度过低，携带岩屑能力下降，可添加增黏剂提高黏度。含砂量超标会磨损钻具和孔壁，需加强固相控制，采用振动筛、除砂器等设备清除岩屑。失水量过大导致孔壁失稳，可添加降滤失剂减少失水。同时，要根据地层变化和钻进情况及时调整冲洗液配方，如在钻遇水敏性地层时，增加防塌剂的用量，以保持冲洗液性能稳定，确保钻探工作顺利进行。

### 2.5 深孔钻探中的岩芯采取与处理技术

#### 2.5.1 岩芯采取率的影响因素与提高方法

岩芯采取率受地质条件、钻进方法及操作规范等因素影响。在松散、破碎地层中，岩芯易碎裂导致采取率降低；金刚石钻进较冲击钻进更易保护岩芯，双管钻具可减少岩芯冲刷；钻压、转速及冲洗液量过大易破坏岩芯，需优化参数控制。提高采取率的方法包括：针对破碎地层采用双管或三管钻具，控制合理钻压、转速及冲洗液量，规范操作避免盲目加压，控制回次进尺（如破碎地层每回次进尺50-70cm即提钻），并加强岩芯保护，及时取出并妥善保管岩芯。

#### 2.5.2 岩芯的现场处理与保存

岩芯现场处理需平整场地，预留防雨遮阳设施，并准备足量岩芯箱、编号工具等物资。退取岩芯时严禁吊打岩芯管，避免人为破碎或次序颠倒；松软岩芯应保持原状，按出筒顺序摆放后清洗，岩屑需漂洗至露出本色。岩芯按由浅至深顺序装入岩芯箱，上下回次间插放挡板，行间用隔板隔开，箱外侧标注勘探区名称、孔号等信息。松散、破碎岩芯应分段装袋编号，岩芯箱垛高不得超过1.5m，钻孔验收后及时入库保管，运输途中需加盖保护，防止散乱污损。

#### 2.5.3 岩芯的分析与应用

岩芯分析是获取地质信息的关键环节，通过显微技术（如偏光显微镜、电子显微镜）、分光技术（如X射线衍射、红外光谱）及压汞法等手段，可测定全岩矿物组分、分析孔隙结构与矿物分布，并获取孔喉分布参数。例如，X射线衍射可迅速测定粘土矿物组成，扫描电镜能直观观察孔隙内充填物类型及产状。岩芯分析结果可全面认识油气层岩石物理性质、矿物组成及敏感性特征，确定潜在损害类型及程度，为保护油气层、提高采收率提供地质依据，同时支持矿产资源评估、地质灾害预测及工程建设地质参数设计等应用<sup>[3]</sup>。

#### 结束语

岩芯钻探技术在深孔钻探中的应用，是地质勘探与资源开发领域的关键突破。从精准的钻孔轨迹控制确保钻进方向无误，到科学配制的冲洗液保障孔壁稳定与岩芯完整；从高效多样的钻具选择提升钻进效率，到精细规范的岩芯采取与处理流程获取可靠地质信息，每一个环节都凝聚着技术创新与实践智慧。这些技术的协同应用，不仅助力我们深入地下探寻资源宝藏，更为地质研究、工程建设等提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1] 庞怀伟, 保丞, 高元宏. 岩芯钻探技术中的护壁堵漏方法[J]. 价值工程, 2021, 35 (16) : 130-132.
- [2] 李志强, 黄忠高. 地质深孔钻探技术与管理探讨[J]. 西部探矿工程, 2022, 23 (04) : 211-214.
- [3] 赵长福. 浅议钻探技术对勘察质量的影响[J]. 工程勘察, 2022 (09) : 126-128.