

# 浅谈提高花岗岩地层水平钻孔钻进效率的技术措施

胥虹 雷洁力 张权 张天驰

天津华北地质勘查局核工业二四七大队 天津 301800

**摘要:** 笔者在甘肃某工地开展绳索取心水平钻孔施工过程中, 钻遇坚硬“打滑”的花岗岩地层, 钻头进尺难, 钻进效率低。为解决这一难题, 笔者依据金刚石破岩机理, 提出采用HTW钻具替换HQ钻具、加工特制专用钻头并改进试验和应用绳索取心液动锤等技术措施, 成功解决了钻头“打滑”不进尺的难题, 有效提高了花岗岩地层水平钻孔钻进施工效率。

**关键词:** 花岗岩; 打滑地层; HTW钻具; 特制钻头; 绳索取心液动锤

## 1 前言

### 1.1 项目背景

近年来, 随着地下岩脉寻矿、工程地质勘察的需要, 水平孔钻探工程项目越来越多, 我公司于2020年从事绳索取心水平钻孔钻探施工, 经过几年的施工经验积累, 钻探施工技术与队伍越发成熟。2023年我公司与某科研院所签订了地下水平钻孔施工合同, 该项目的实施成为我公司在水平钻孔施工中的又一次技术突破。

### 1.2 项目概况

#### 1.2.1 地理位置及地质情况

项目位于甘肃省酒泉市肃北县某坑道中, 岩性主要为中粒的花岗闪长岩和英云闪长岩为主, 具有似斑状结构、块状构造。岩体内部少有区域性断裂构造穿越切割, 岩体较完整。岩石可钻性级别一般为9-10级, 局部可能会达到11级, 研磨性中偏低。

#### 1.2.2 钻探技术指标与要求

(1) 钻孔孔径为96mm, 孔深40-200米, 采用金刚石钻头双管钻进或者绳索取心技术。

(2) 水平钻孔的方位角与顶角误差每50m均不超过0.5°, 钻进过程中须严格控制孔斜, 至少每20米测量一次孔斜。

(3) 每50米孔深误差小于±0.1%, 每50m须校正一次孔深, 孔深精确到毫米。

(4) 岩心采取和磨损: 钻孔完整孔段岩心采取率不小于95%, 构造破碎段岩心采取率不小于75%。钻进过程中原则上不得磨损岩心(即岩心断口处因磨损使岩心损失或不能有效拼接), 保证岩心的可拼合性, 每50m岩心磨损次数必须控制在2次以内。

(5) 冲洗液原则上采用清水钻进, 经甲方书面同意可以使用聚丙烯酰胺等润滑剂。

(6) 岩心基线刻画: 即对采取的岩心从上到下进行拼合, 用红色永久性记号笔在岩心侧面画一条连续的平行岩心轴线的直线, 在基线上间隔10cm标定刻度, 间隔20cm标定岩心深度。

### 1.3 项目前期施工情况

#### 1.3.1 选用设备及钻具

根据工区环境、地层情况和技术要求, 我公司选用了KD45型号的坑道钻机, BW160泥浆泵, 配置HQ系列钻杆和钻具, 选用HRC为0-5度的环齿金刚石绳索取心钻头(钻进花岗岩地层专用钻头)。

KD45坑道钻机为分体式全液压钻机, 体积小, 可在小空间范围作业, 具体参数见表1。

表1 KD45钻机参数

|       |              |        |             |
|-------|--------------|--------|-------------|
| 电机动力  | 45KW         | 动力头转速  | 0-1000r/min |
| 提升能力  | 65KN         | 液压工作压力 | 20Mpa       |
| 钻孔倾角  | 0-180°       | 方位角    | 0-360°      |
| 外形尺寸  | 3365*800*650 | 主机重量   | 1120kg      |
| 动力头行程 | 1600mm       | 钻进能力   | 0-300m      |

#### 1.3.2 施工中遇到的难题

钻机进入施工巷道, 安装过程已对钻机进行了锚固和撑杆加固, 避免钻机加压和提升过程发生位移。一切准备工作完成后, 开孔当日就发现了问题: 钻头钻进0.3米

后, 进尺特别缓慢, 伴随钻机扭矩降低, 半小时钻进不到10厘米, 出现了典型的钻头“打滑”不进尺现象。后操作班长通过增加钻压, 未见明显进尺, 反而因强大的反推力导致锚固开裂、撑杆失效, 出现钻机偏离的事故。

为了解决这个问题：接下来每次钻头入井前，人为对钻头进行了预开刃，开刃后进尺效果良好，但是进尺一般在0.3-0.5米后进尺开始变得缓慢。此后，操作班长只能复提钻，反复进行人工开刃，忙碌一天，有效进尺不到5米，效率极低。

一般而言，当垂直钻孔施工遇到“打滑”时，会选择采用投料磨钻头技术，进行钻头开刃，避免来回提下钻，可有效提高钻进效率。但是水平钻孔投料磨钻头技术难以实现。于是技术人员提出采用了风险较大的孔底烧钻头技术，进行钻头开刃。该方法对机班长操作技术要求很高，经验不足的操作班长易导致烧钻事故的发生，我公司有经验的班长应用该技术后明显提高了进尺效率，日进尺最高达到了20米，但同时发现一个严重的问题，岩心断面磨损（见图1）增多，超过了技术要求的最大数量，导致岩心质量不合格，被迫停止了该技术的使用。这也导致前期施工效率又回到4-5m/d的情况。



图1 采用烧钻头技术后出现的岩心磨头

## 2 项目施工难点分析及解决方案

### 2.2 项目施工难点分析

众所周知，孕镶金刚石钻头破岩机理就是通过胎体内出刃的金刚石高速刻划和研磨地层而实现钻进效果的。笔者据此原理分析认为导致钻头进尺缓慢出现“打滑”现象的根本原因是：当孕镶金刚石钻头钻进高强度、低研磨性花岗岩地层过程中金刚石颗粒会出现快速钝化，胎体因缺少岩屑颗粒研磨难以侵蚀脱落，从而导致钻头与岩层之间摩擦阻力减少，出现平面滑动现象。据此原因，总结出前期施工进尺缓慢出现“打滑”现象的具体原因有以下几点：

(1) 采用HQ钻具钻头唇面较厚（一般HQ钻具钻头唇

面壁厚16mm），在相同的钻压下，单位面积的压力小，与岩层之间的摩擦阻力小，这导致胎体难以疲劳磨损脱落，金刚石就不能出刃研磨岩石。

(2) 前期施工使用的钻进花岗岩地层专用钻头并没有根据实际岩石力学性质和物质特性进行针对性研制，导致该类钻头不能很好适应施工地层出现进尺缓慢“打滑”现象。

(3) 因科研钻孔对孔斜质量要求很高，为了确保钻孔的施工质量，笔者根据控斜原理对钻进参数（特别是钻进压力）进行最大限制，这是不可更改的重要钻进参数，从而限制了钻头刻划岩石能力。

(4) 普通回转钻进，钻压稳定，当出现金刚石钝化后，胎体难以疲劳脱落，故而钻进效率低。

### 2.3 难点的解决方案

针对以上具体分析原因决定采用以下技术措施：

(1) 采用HTW钻具替代HQ钻具。HTW钻具配套钻头唇面较薄，壁厚12mm，同等钻进参数的条件下，理论上可提高单位面积压力1.27倍。

(2) 设计制造金刚石粒度小，胎体软，有利于开刃的异形齿金刚石钻头，因我公司不具备研发钻头能力，于是向国内知名的钻头生产厂家提供岩石样本和现用钻进参数，厂家依据根据实际情况制定专用钻头，然后现场试验各厂家的特制钻头，选择出钻进效果最佳的钻头。

(3) 采用廊坊钻探研究所生产的适应HTW钻具的绳索取心液动冲击锤，利用冲击器产生冲击功迫使钝化的金刚石锐化，增加钻头与岩层之间的摩擦阻，提供让胎体疲劳磨损脱落的条件，以达到钻头保持持续开刃的效果，从而提高钻进效率。

## 3 方案实施与效果

### 3.1 HTW钻具使用与效果

HTW钻具为薄壁钻具，钻杆与钻具都比HQ系列轻。改用HTW钻具后，工人作业强度减轻不少，根据表2，选用A和B两家钻头进行试验，通过数据对比，可见HTW钻头进尺虽然同样出现打滑不进尺现象，但是打滑前进尺效率比HQ系列钻头高，平均提高15%左右。证明相同厂家钻头采用HTW钻具比HQ钻具机械进尺效率高。

表2 HTW钻头与HQ钻头试验数据对比表

| 序号 | 钻头编号 | 钻头型号 | 钻头外形 | 开刃状态进尺状态 |          |              | 打滑后进尺状态  |          |              | 备注     |
|----|------|------|------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|--------|
|    |      |      |      | 进尺深度 (m) | 进尺时间 (h) | 机械进尺效率 (m/h) | 进尺深度 (m) | 进尺时间 (h) | 机械进尺效率 (m/h) |        |
| 1  | A1   | HQ   | 环齿   | 0.35     | 0.16     | 2.13         | 0.05     | 0.5      | 0.1          | 同等钻进参数 |
| 2  | A2   | HTW  | 环齿   | 0.32     | 0.13     | 2.45         | 0.06     | 0.5      | 0.12         |        |
| 3  | B1   | HQ   | 环齿   | 0.42     | 0.15     | 2.75         | 0.07     | 0.5      | 0.14         |        |
| 4  | B2   | HTW  | 环齿   | 0.45     | 0.14     | 3.11         | 0.08     | 0.5      | 0.16         |        |

### 3.2 特制钻头选用与改进试验效果

根据花岗岩地层坚硬“打滑”特性，目前在钻头制作上的解决方案有：①降低钻头胎体强度；②异形唇面结构；③减少金刚石粒度、浓度；④采用分层式熔接结构；⑤在钻头内增加辅助磨料。即使解决方式较多，但是实际应用上因为钻头加工工艺的不同和与之地层不匹配等因素，各厂家生产的钻头实际应用效果也会不同。

于是，我队向国内五家知名钻头制造商上寄出岩心样品，厂家根据样品岩石特性专门制定钻头，我队进行了现场测试。本次试验目的是找出适应性最优的钻头。为了不必要的麻烦，试验钻头不提及厂家名称，试验钻头编号为A、B、C、D、E。为保证试验准确性和钻孔试验过程中的钻孔质量不受影响，我们选择了最优的相同钻进参数，试验结果见表3

表3 不同厂家钻头钻进试验结果表

| 序号 | 钻头编号 | 钻头状态    | 钻头参数                          | 开刃状态进尺状态 |          |              | 打滑后进尺状态  |          |              | 备注             |
|----|------|---------|-------------------------------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|----------------|
|    |      |         |                               | 进尺深度 (m) | 进尺时间 (h) | 机械进尺效率 (m/h) | 进尺深度 (m) | 进尺时间 (h) | 机械进尺效率 (m/h) |                |
| 1  | A    | 全新      | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度45-60 | 0.32     | 0.13     | 2.45         | 0.06     | 0.5      | 0.12         | 试验采用最优相同的钻进参数。 |
| 2  | B    | 全新      | 锯齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度45-60 | 0.45     | 0.14     | 3.11         | 0.08     | 0.5      | 0.16         |                |
| 3  | C    | 全新      | 锯齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 0.48     | 0.15     | 3.25         | 0.09     | 0.5      | 0.18         |                |
| 4  | D    | 全新      | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 0.75     | 0.22     | 3.45         | 0.15     | 0.5      | 0.3          |                |
| 5  | E    | 全新      | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 0.65     | 0.19     | 3.36         | 0.11     | 0.5      | 0.22         |                |
| 6  | A    | 二次人为开刃  | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度45-60 | 0.35     | 0.14     | 2.46         | 0.07     | 0.5      | 0.14         |                |
| 7  | B    | 二次人为开刃  | 锯齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度45-60 | 0.44     | 0.14     | 3.10         | 0.08     | 0.5      | 0.16         |                |
| 8  | C    | 二次人为开刃  | 锯齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 0.51     | 0.16     | 3.24         | 0.08     | 0.5      | 0.16         |                |
| 9  | D    | 二次人为开刃  | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 0.81     | 0.24     | 3.42         | 0.15     | 0.5      | 0.3          |                |
| 10 | E    | 二次人为开刃  | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 0.62     | 0.18     | 3.38         | 0.11     | 0.5      | 0.22         |                |
| 11 | A    | 人为减少工作面 | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度45-60 | 0.42     | 0.15     | 2.89         | 0.15     | 0.5      | 0.3          |                |
| 12 | B    | 人为减少工作面 | 锯齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度45-60 | 0.56     | 0.16     | 3.56         | 0.23     | 0.5      | 0.46         |                |
| 13 | C    | 人为减少工作面 | 锯齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 0.58     | 0.16     | 3.58         | 0.25     | 0.5      | 0.5          |                |
| 14 | D    | 人为减少工作面 | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 1.22     | 0.25     | 4.88         | 1.15     | 0.5      | 2.3          |                |
| 15 | E    | 人为减少工作面 | 环齿, HRC0-5, 金刚石浓度75%, 粒度30-45 | 1.08     | 0.25     | 4.35         | 0.95     | 0.5      | 1.9          |                |

从表3中我们可以得出以下结论。

(1) 参与试验5种钻头，全新状态开刃时进尺效率在2.45m/h-3.45m/h之间，进尺效率较好，打滑后半小时进尺都小于0.3m，说明参与试验的5种钻头都未能解决钻头“打滑”难题。

(2) 人为开刃（人工对钻头进行打磨开刃）后的钻头，表现与全新状态相似，说明参与试验的5种钻头即使采用人为开刃方式还是未能解决钻头“打滑”难题。

(3) 对5种钻头人为减少工作面后（见图2，人为减少钻头胎体数目），在解决钻头“打滑”问题上，有所改善，特别时D、E两种钻头基本上解决了钻头“打滑”难题。

(4) 人为减少钻头胎体工作面实际上就是增加了钻头的单位面积压力，相同条件下，D、E两种钻头在该压力下实现了研磨进尺应该与金刚石粒度有关，金刚石粒度越小，颗粒越大。说明大颗粒金刚石有利于钻头提高进尺效率。

(5) C与D两种钻头除了齿形不一样（见图3与图4），其他参数一样，但是进尺相差却很大，说明齿形设计合理有利钻头开刃和持续进尺。

(6) 通过试验对比发现，在根据岩性特点设计制作钻头理念上钻头制造厂之间的制造工艺是有一定差别的，D、E厂家的钻头达到了本次试验的目的，基本上解决了钻头“打滑”难题。



图2 人为减少工作面的环齿钻头

### 3.3 液动潜孔锤工作原理及应用效果

本次试验采用廊坊探工所研制的YZX56液动锤，液动锤与HTW绳索钻具结合，实现绳索取心液动锤钻具，工作原理如图3，高压水通过推送到位装置将内管总成推

送到位，弹卡装置负责锁住总成，液动锤（冲击器）到位于水压力作用下开始工作，冲击器的冲击功通过传功环传递给外管，外管再将冲击功传递到钻头，实现冲击破岩。

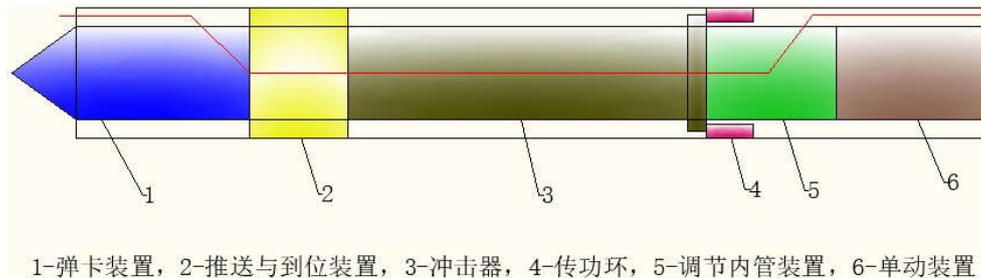


图3 绳索取心液动锤示意图

考虑到BW160泥浆泵的工作能力，本次试验选择泵量115L/min

泵压1.5Mpa，作为测试参数，钻压与转速保持不变，为了更好地提升钻进效率，选择D、E两家钻头作为试验对象。从表4可见：

(1) D、E两家全新钻头在液动锤的作用下，改变钻头原有的“打滑”状态，机械进尺由0.2-0.3m/h提高到1.3-1.5m/h，机械进尺提升效果特别明显。

(2) D、E两家人为减少工作面的钻头，使用液动锤后，打滑后的机械进尺效率由1.9-2.3m/h提升到2.24-2.5m/h，平均提升13%。

(3) 从以上两个结果分析可知：在规定试验工况下，液动锤并未有效实现岩石体积破碎功效，但是通过液动锤的冲击作用，却有效增加了钻头胎体脱落的速度，确保了金刚石的快速出刃，从而实现了钻头的稳定进尺，有效提高钻头的机械进尺效率。

表4 绳索取心液动锤钻进试验结果表

| 序号 | 钻头编号 | 钻头状态    | 钻头外形 | 开刃状态进尺状态 |          |              | 打滑后进尺状态  |          |              | 备注                 |
|----|------|---------|------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|--------------------|
|    |      |         |      | 进尺深度 (m) | 进尺时间 (h) | 机械进尺效率 (m/h) | 进尺深度 (m) | 进尺时间 (h) | 机械进尺效率 (m/h) |                    |
| 1  | D    | 全新      | 环齿   | 0.75     | 0.22     | 3.45         | 0.75     | 0.5      | 1.5          | 冲击器频率<br>20-40次/分钟 |
| 2  | E    | 全新      | 环齿   | 0.65     | 0.19     | 3.36         | 0.65     | 0.5      | 1.3          |                    |
| 3  | D    | 人为减少工作面 | 环齿   | 1.29     | 0.37     | 3.46         | 1.25     | 0.5      | 2.5          |                    |
| 4  | E    | 人为减少工作面 | 环齿   | 1.18     | 0.35     | 3.38         | 1.12     | 0.5      | 2.24         |                    |

### 4 试验过程的不足之处

(1) 因受空间、设备和钻孔质量的要求等因素限制，试验数据的局限性是不可避免的，试验数据的最终结果只代表该钻探设备和钻进参数下的最优选择，不代表试验过程厂家钻头制造工艺不足。

(2) 试验全程只进行的机械进尺效率的对比，未对钻头寿命问题进行测试，最佳性价比钻头后期使用中有待测试研究。

(3) 因试验过程中采用的BW160泥浆泵不能提供足够的泵压与泵量需求，液动冲击器的释放的冲击功难以达到破岩所需的冲击功，导致冲击功实现岩层体积破碎效果不佳，从而导致进尺提升效果只有13%。

### 5 总结

(1) 在花岗岩地层钻进中，采用HTW钻具比HQ钻具

更能提高机械钻进效率；采用特殊工艺加工特制钻头，经过人为减少工作面，解决了钻头打滑难出刃的技术难题，保证了钻头的持续有效进尺；采用绳索取心液动锤钻具改变“打滑”状态实现稳定进尺效果是明显的。

(2) 针对坚硬“打滑”的花岗岩地层，无论是采用HTW钻具，人为减少钻头工作面，还是采用液动锤，其实质都是变相增加钻头的有效工作压力，迫使钻头与地层增加摩阻，加快胎体磨损脱落，确保钻头金刚石出刃刻划岩石，达到持续进尺的目的，从而提高钻头在坚硬“打滑”的花岗岩地层进尺效率。

(3) 钻头选择必须因地制宜，同一钻头在不同花岗岩地层钻进效率是不一样的。根据基础理论设计制造的钻头必须通过实地测试才能验证其准确性，真实性。即实践应用才是验证钻头实用性的唯一标准。

## 参考文献

- [1]蔡家品,贾美玲,难钻进地层金刚石钻头的现状和发展趋势[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):67-73
- [2]张绍和,杨凯华.主辅磨料双切削作用金刚石钻头研究[J].地质与勘探,2001,37(5):88-90.
- [3]沈立娜,阮海龙,李春,等.坚硬致密“打滑”地层新型自锐金刚石钻头的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):57-59.
- [4]沈立娜,郭长江,等.新型自出刃多孔胎体孕镶金刚石钻头的研究[C].中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程技术学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2015.
- [5]曹学斌,王发民,SYZX96型绳索取心液动锤在甘肃李坝金矿复杂地层中的应用及效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):30-33.
- [6]蒋光旭,唐振华,李德波,等.SYZX96/75绳索取心液动锤钻具的应用效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):13-15,19.
- [7]杨泽英.SYZX75型绳索取心液动潜孔锤的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):73-74
- [8]罗冠平.SYZX75型绳索取心液动锤在肃北德勒诺尔铁矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):47-49,56.
- [9]王建华,苏长寿,左新明.深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J].勘察科学技术,2011,(6):59-64.
- [10]王发民,刘清山,甘肃曹家口金矿松散破碎地层液动潜孔锤钻进冲洗液选型及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):29-32.