

# 矿井复杂地质条件下软岩层钻进技术研究

陈铁军

(冀中能源股份有限公司葛泉矿, 河北 邢台 054107)

**摘要** 针对矿井地质、水文地质条件, 煤层底板下部发育粉砂岩质泥岩软岩, 该层泥岩具有强度低、水化膨胀性强、环境敏感性强的特性, 因此, 在该地层钻进时, 极易出现塌孔、缩径、卡钻、埋钻、断钻、钻具掉落等问题, 而且很难维护。本文认为针对软岩层钻进难的问题, 通过对钻孔结构、钻头、钻进参数、施工工艺等优化选取, 钻进操作、孔内事故预防及处理采取针对性措施, 提高复杂地质条件下软岩钻进施工效率及质量, 降低工程成本, 具有十分重要的意义。

**关键词** 复杂地层 软岩 护壁堵漏 钻进技术

**中图分类号:** TE24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-0745(2022)12-0015-03

软岩层是岩石经过复杂的地质作用和自然因素影响而形成的, 软岩具有可塑性、膨胀性、崩解性、流变性和触变性, 因此在此类地质岩层钻进过程中, 因其自身原因冲洗液护壁困难, 因机械破碎原因岩屑过多, 容易引起埋钻、塌孔、钻孔缩径卡钻、抱钻等钻孔事故, 造成钻头寿命低, 岩芯采取率低, 易导致事故频发, 严重影响钻探施工正常钻进。

## 1 软岩物理力学性质

软岩物理力学性质指软岩在水作用下表现出来的性质, 对岩体有突出影响的主要包括可塑性、膨胀性、易扰动性。软岩层在钻探过程当中比较容易发生钻孔事故, 主要是与软岩的可塑性、膨胀性、易扰动性密不可分。

### 1.1 软岩的可塑性

软岩的可塑性是指由软岩中泥质成分的亲水性和结构造面扩容共同引起的, 与黏土矿物成分吸水软化有较大关系。软岩可塑性的变形机制比较复杂, 与软岩结构面扩容机制和黏土矿物吸水软化机制同时存在。

### 1.2 软岩的膨胀性

软岩的膨胀性是软岩遇水发生体积增大称为软岩的膨胀性。主要以吸水膨胀变形为主, 根据产生膨胀机理可分为内部膨胀性、外部膨胀性和应力扩充膨胀性。

### 1.3 软岩的易扰动性

由于泥岩构造主要由黏土矿物组成, 其次为碎屑矿物和有机质矿物, 由于质地松软、裂隙发育, 遇水极易吸水膨胀, 对加载、卸载、振动较为敏感, 具有遇水吸水膨胀软化特点。

### 1.4 软岩的可钻性

在软岩地层钻探过程中, 因其本身含黏土矿物较

多, 且质地松软, 钻进过程中极易遇水膨胀变软, 极易造成钻孔缩径, 引起卡钻或钻杆折断事故; 另外, 由于岩层较软, 易造成堵钻头、造成钻头磨损率高, 钻头寿命大大降低, 进而引发事故, 影响正常钻探施工。

## 2 软岩钻进效率低的原因分析

1. 一般情况下, 钻孔施工在钻进软岩时, 一旦钻头进入岩层内, 由于其硬度低、坚固系数低、泥质黏土含量高、粘度较大, 钻头在切割、破碎、搅拌过程中分离出来的粘稠胶质泥岩与部分砂岩易沉积孔底, 由于其隙度较小, 粘度大, 细小颗粒岩粉结构被水冲散后, 又很快沉淀、固结, 在钻进过程中, 若供水水压和水量不足以顺畅排渣时, 就极易发生埋钻事故, 造成岩粉抱死钻杆, 无法转动、起拔, 发现钻探事故, 严重影响正常钻进施工<sup>[1]</sup>。

2. 钻孔在钻进砂质泥岩时, 由于砂质泥岩的主要成分为砂质颗粒, 其胶结物为黏土, 钻进过程中, 钻头旋转切割破碎泥岩, 产生大量的砂质颗粒岩粉, 钻孔下斜角度较大时, 孔底岩粉难以顺畅排出, 造成大量砂质颗粒岩粉持续不断地围绕在钻杆周围, 逐渐将钻杆和钻头埋死抱紧, 当钻杆所承受摩擦力大于钻机的扭矩时, 发生钻杆、钻头无法旋转、退进, 就发生埋钻事故。

3. 在地质构造带、背向斜轴部等原岩应力集中区域, 钻孔钻进软岩时, 因钻孔的切割、破碎改变了钻孔周围岩层的应力平衡状态, 岩层应力的重新分布而在钻孔壁周围形成高应力集中区, 钻进过程中孔壁应力平衡状态不平衡造成孔壁崩裂, 引发钻孔塌孔, 钻孔堵塞, 造成钻孔返水、排渣困难, 钻杆扭矩变大、钻机负荷变大, 钻孔不能正常施工, 也是影响钻孔施

工效率的重要因素之一。

4. 钻孔钻进软岩过程中, 容易造成堵钻头、钻杆、缩径卡钻等现象, 以致引发钻孔卡钻、断钻、掉钻具、钻头、钻探事故, 处理钻探事故需要人力、物力、财力, 使钻探成本增加、效率降低, 还有可能造成废孔, 使钻探施工承受较大的经济损失。

### 3 软岩钻进过程中主要存在的问题

由于软岩黏土基质含量较高, 胶结程度较差, 吸水时往往具有膨胀性和易溶性, 因此在钻进过程中会给冲洗液维护、孔壁不稳定、塌孔等带来各种问题。

1. 软岩钻进冲洗液控制难: 由于软岩的黏土矿物含量较高, 胶结程度较差, 吸水极易膨胀, 水化分散能力强, 造成冲洗液的流变性难于控制。在钻进过程中, 随着软岩中黏土矿物不断被水化分散, 冲洗液的黏度逐渐增加, 过高黏度的冲洗液的流动性较差, 给净化工作带来极大影响, 造成滤失量损失大, 难以控制。

2. 钻孔揭露软岩时, 软岩遇水吸水体积增大膨胀, 钻进过程中钻孔上部孔径变小, 造成钻孔缩径现象, 钻孔提钻时阻力变大, 提钻困难。

3. 软岩钻进过程中由于岩层硬度小, 钻进速度快, 岩粉不能及时排出, 造成钻头、钻具、钻杆淤堵, 钻进过程中钻头切割破碎岩能力大大降低, 钻进速度减缓, 影响钻探正常进尺<sup>[2]</sup>。

### 4 针对软岩钻进效率低的应对措施

1. 机台必须配备钻探经验丰富的高素质人员操作钻机, 并严格遵守有关钻探操作规程, 施工前检修保养钻机到位, 保证钻机等设备处于完好状态, 确保钻机正常运转。

2. 合适的钻孔结构。

(1) 钻孔结构: 开孔前必须详细了解设计及周边岩层地质情况, 如周边已有施工的钻孔, 则应对已钻出的岩芯进行详细的分析, 设计出合理的钻孔结构。一般应选用直径 133mm 开孔钻具, 穿过覆盖层后下入直径 127mm 套管(套管底部可用水泥固结, 以防止套管下沉), 再改用直径 113mm 钻进至能完全坐稳套管后下入直径 108mm 套管, 再改用直径 94mm 钻具钻进, 可暂时不下入直径 89mm 套管, 以防止扩孔难以起拔, 但直径 94mm 钻具需尽可能深, 再改直径 75mm 取芯钻进。

(2) 软岩钻进钻头的合理选择: 由软岩地层岩石硬度低、强度小, 可在小的轴向压力下切入岩石, 当切入深度较大时, 岩粉的碎屑颗粒也较大, 但容易破碎成小颗粒; 钻速很快, 单位时间内产生的岩粉量较大, 要求钻头、钻杆通水量较大, 钻孔容易排粉; 排粉困难时应适当加大钻头外径, 提高排粉能力; 软岩层黏

土基质含量较高, 黏结性大, 软岩遇水吸水体积增大膨胀, 钻进过程中钻孔上部孔径变小, 容易出现钻孔缩径现象, 造成钻孔提钻时阻力变大, 不容易提钻, 因此, 针对此种地质构造层, 在钻头选择上, 应选用质地较好的硬质合金钻头进行作业。同时, 为了增加钻孔水量和水压, 保证正常排粉, 最好选取硬质合金钻头上加大钻头出刃和带筋骨的钻头钻探。

(3) 合适的钻具组合: 因软岩具有较强的塑性变形, 钻具在钻进作业高速旋转中易与地层岩壁摩擦力, 因此, 针对软岩地层钻进问题, 要提前准备和计划钻具组合, 以简化、高效的原则搭配钻具, 在预防卡钻的同时, 减少施工浪费, 节约成本。

(4) 软岩浅孔钻进时, 应采用光杆钻杆施工, 并配以风水混合联合排碴方式, 其工艺流程为钻进-切割-破碎-风水混合-孔底排碴。风水混合排碴方式要能随时控制孔内排碴的干湿程度, 保证岩粉排碴通畅, 不会造成埋钻卡钻事故。

(5) 软岩深孔钻进时, 应采用螺纹钻杆钻进, 水力排碴方式进行钻探施工, 钻孔内的岩粉在水量水压的作用下, 通过螺旋钻杆旋转, 将钻孔内混合岩粉的水流沿孔壁旋转挤压, 当钻孔供水水压压力大于孔内水压时, 在孔内形成较为明显的瞬时激流和脉冲水流, 通过钻孔水携带钻孔岩粉碎屑, 将孔内的岩粉碎屑有效地排出, 达到防止钻孔内岩粉沉淀, 发生抱钻、埋钻的目的。螺纹钻杆在钻进过程中通过自身的螺旋曲面旋转, 持续不断地对钻孔内岩粉颗粒进行破碎、切割、搅拌, 能够将孔内的岩粉与钻孔供水充分混合, 保证钻孔的排碴顺畅。采用携带导向等钻具钻进方法时, 使用静水压排碴, 要保证静水压力必须大于 2MPa, 并且在钻孔钻进过程中要根据岩层的软硬程度控制好钻机的钻进速度和给进压力。钻机的给进压力极限是固定的, 钻机在旋转过程中, 旋转压力可以在 13MPa~15MPa, 旋转压力过大时, 容易出现卡钻事故, 正常钻进时的压力要比最大压力小 4MPa~5MPa, 防止卡钻事故发生。

3. 采取护壁堵漏的办法可有效应对软岩岩层中的钻孔问题。在钻孔施工过程中, 为了应对复杂地层, 可有效采取护壁堵漏的方法。护壁也叫护孔, 主要是解决孔壁的稳定问题; 堵漏主要是解决孔内冲洗液的漏失问题。护壁堵漏是治理解决复杂地层钻进的有效手段, 是预防孔内事故的重要措施。

4. 正确使用套管。为保证孔口安装大阀门控制疏放钻孔水量, 方便钻孔进行注浆, 要依据孔口水压计算, 孔内下入套管的深度, 有效预防钻孔出水。此外, 套管是一种有效、可靠、速度快的护壁堵漏方法。在施

工过程中, 钻杆旋转对孔壁进行碰撞敲击, 单纯依靠冲洗液护壁, 很难保证孔壁长时间稳定, 因此下入套管是最稳固的方法, 下入套管时, 可在套管底部拧紧合金钻头或薄壁金刚石钻头, 合金钻头的钢体外径与套管接箍丝扣匹配, 保证连接牢固, 在遇到孔内塌孔或孔底岩粉碎渣较多下管不顺利时可大大增加下管成功率<sup>[3]</sup>。

5. 灵活应用压力平衡钻进的方法。压力平衡钻进法是根据地层特点, 现场条件及钻孔失平衡的具体原因, 抓住失去平衡的主要因素, 采取相应措施, 通过改变冲洗液的比重, 提钻回灌, 增大环装间隙, 控制提下钻速度等进行人为的调整, 暂时恢复压力平衡状态, 保证安全, 是维护正常钻进的一种方法。这种方法不需要什么材料, 也不需要设备, 简单易行, 只要用的及时、正确, 有时在地质条件较为复杂, 采用其他方法难以实施的情况下也能取得奇效, 立即使钻机转危为安, 恢复正常钻进, 收到意想不到的效果。即使是清水施工的钻孔, 坚持回灌或使钻头由不返水变为返水, 也能解决深部钻孔轻度的坍塌问题。

## 5 钻探事故的处理

### 5.1 孔内事故处理

钻杆连接方式一般采用平扣或锥扣丝扣的连接方式, 当钻杆丝扣磨损到一定程度或钻杆在旋转扭矩较大, 超过钻杆所能承受的扭矩时, 钻杆丝扣或钻杆有可能发生断钻, 造成事故。钻杆脱扣一般用正丝公锥进行捞取, 如果在断钻后未及时发现, 钻杆断钻处可能会出现喇叭口或劈裂现象, 采用公锥进行捞取时, 会在断钻头处造成与孔壁夹死的现象, 应先磨掉断钻头 4cm 以上再捞取。当孔内岩层破碎塌孔现象严重或孔底段岩粉碎渣较多时, 先把公锥底部打眼四个作为出水口, 使公锥下端作为一个切割、破碎的切削钻具, 通过提前送水冲洗扫孔, 钻进过程中要轻压慢进, 谨慎操作, 控制好合适的钻进速度和给进压力, 以防止损坏打捞钻具或淤堵公锥的出水孔, 通过如此反复扫孔到钻杆事故头处锥取; 内管的捞取: 当孔内断钻整套钻具时, 因钻具外管孔径较大, 无法锥取外管, 应考虑捞取内管总成, 首先在下入钻具前, 磨掉上扩孔器, 使矛头完全裸露在钻具之外, 然后把打捞器放在钻具的钻头内台阶上, 让钻具内的打捞器勾套事故钻具裸露在孔内的矛头进行捞取。

### 5.2 夹钻、埋钻事故的处理

当遇到夹钻、埋钻事故时, 首先要保证冲洗液的正常循环, 钻孔供水压、水量充足, 用最低档回转钻具, 上下起拔, 尽量将孔内的岩粉排出, 减小钻杆旋转阻力,

直到钻孔返水变清、孔内岩粉碎屑减少, 钻杆阻力变小时, 再缓慢提升。严禁在钻杆旋转阻力较大时强行进行硬拉强顶的野蛮操作行为, 这样只会造成折钻断钻后果, 无论是正扣丝锥还是反扣丝锥处理都非常困难。

### 5.3 缩径卡钻的原因及预防

1. 钻孔发生缩径卡钻多在含泥质或黏土较多矿物的岩层, 其被钻孔揭露后吸水膨胀造成钻孔缩径变小, 其预防方法是尽快钻穿泥岩段地层, 并下入套管, 尽量减少钻具在裸眼中暴露的时间。

2. 选择合适的冲洗液, 其性能要优良, 滤失量要低, 流动要好, 粘切要适当, 降低有害固相含量, 合理选用冲洗液密度。同时加强短起下钻和长起下钻是预防缩径卡钻的重要措施。

3. 软岩钻进过程中, 要保证供水压力和供水流量, 确保孔底岩粉冲洗干净; 在软岩钻进过程中, 要慢速钻进, 穿过软岩后, 应反复顺孔, 防止缩径卡钻; 施工过程中发现回转阻力增大, 并有憋泵现象时, 应停止给压钻进, 保证供水压力及水量, 使其能够正常循环, 方可正常钻进, 禁止有异常时强行提拉钻具, 冒险作业。

4. 停止钻进时, 应及时将钻具提离到软岩上部一定高度, 最好在软岩顶部位置, 保证软岩缩径不卡钻、岩粉沉淀不埋钻, 重新钻进时, 应先冲孔后钻进, 缓慢钻至孔底后方可正常钻进。

## 6 结语

复杂地质条件下, 在软岩钻进过程中, 合理选择钻具及钻进方法, 孔内下设套管护壁及注浆堵漏, 钻进过程中的给进压力及给进速度的有效控制, 可有效避免钻孔塌孔、卡钻、埋钻等事故的发生, 对于提高复杂地质条件下软岩钻探施工效率及质量, 降低工程成本具有十分重要的意义。综上所述, 软岩岩层钻孔问题不仅是解决好其他问题的前提和基础, 而且是影响施工效率、质量的主要障碍, 故应采取应对措施来解决此类问题。

## 参考文献:

- [1] 王森林. 矿井水文地质勘查钻探技术研究与应用[J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(08): 174-176.
- [2] 贾明群. 煤矿井下碎软煤层旋转导向钻进技术[J]. 能源与环保, 2020, 42(07): 78-81.
- [3] 李迎喜. 复杂软弱煤层条件下高速螺旋复合钻进技术研究及实践[J]. 煤矿安全, 2022, 53(08): 87-93.