

· 探矿工程 ·

# 非平衡钻进中的钻具问题

马沈岐 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

王彦红 (淮北矿业集团有限责任公司桃园煤矿 安徽宿州 234116)

**摘要** 非平衡钻进技术是近些年发展起来的,在多种工程施工条件下得到广泛的应用,本文探讨了非平衡钻进工艺中有关钻具的问题,并简略讨论了应用中的具体问题。

**关键词** 非平衡钻进 钻具 钻探工艺

**中国图书资料分类法分类号** P634.42

**作者简介** 马沈岐 男 44岁 工程师 钻探工艺

## 1 引言

非平衡钻进技术在工程地质、管线铺设、地面或矿井探放水、煤矿瓦斯抽放等多项工程中的应用越来越广泛。这些工程的专业技术参数对非平衡钻进工艺提出了新的、适应性更强的技术要求。近年来在钻探硬件系统方面形成了钻探设备、钻具、控制系统等新型系列产品,基本适应了当前非平衡钻进所需的设备能力问题;在软件系统方面对于非平衡钻进工艺的理论研究,虽有一定的探讨,但仍滞后于硬件系统的发展。本文仅就近年来在采用非平衡钻进工艺中所涉及的钻具及工艺问题谈点认识。

## 2 非平衡钻进的概念及相关问题

非平衡钻进即在所钻地层形成的钻孔环隙中,泥浆不能形成承压状态,使钻孔壁不能依靠泥浆密度所建立起来的泥液柱压力,来平衡地层孔隙压力与地层应力,钻孔壁的稳定性无法依靠泥浆性能与泥浆密度来实现的钻进技术。

非平衡钻进中,钻具的工作状态是:整套钻具始终承受着重力作用,要实现钻进的目的,钻进压力必需克服钻具重力、钻杆柱内部的泥浆重量、钻杆柱及附件与岩石之间的摩擦阻力之后才能实现。钻具在其重力的作用下,钻孔成孔轨迹必须进行有效的调控才能达到钻孔设计参数要求。

在非平衡钻进中,钻孔的角度可划分为3个区段:即仰角钻孔段、近水平钻孔段和俯角钻孔段。

### 2.1 仰角钻孔段

角度一般在 $12^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,钻孔角度设计的越大,泥浆流动的速度越快。当钻孔角度大于 $60^{\circ}$ 时,泥浆的冲刷能力大大增加,而钻具与岩石的摩擦阻力相对减小。

### 2.2 近水平钻孔段

角度一般为 $-5^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 之间。这一钻孔角度区间

在非开挖钻进、探放水钻进、本煤层瓦斯抽放等地质工程钻进中应用广泛,也是目前地质工程中重点研究的对象。在此角度区间内,钻具的重力基本垂直钻孔,而泥浆则不能充满钻孔。随着钻具的回转,不承压的泥浆被搅散,对钻孔壁上半部分有侵蚀作用。若钻进的地层较为松散或是煤系时,受侵蚀作用,孔壁坍塌会随时发生。同时钻具与岩体之间的摩擦阻力最大,钻具的磨损也最严重。

### 2.3 俯角钻孔段

角度一般为 $-5^{\circ}$ 以下,俯角钻孔内充满泥浆,随着钻孔俯角度数的加大和钻孔深度延长,其泥浆的承压状态逐步建立,因而选择何种钻进工艺,要视其钻孔设计参数而定。在非平衡钻进中钻具的重力随着角度的加大逐渐向钻头部位集中,而泥浆的压力则不能起到平衡钻孔壁空隙压力的作用,但是对稳定钻孔壁则能起到一定的平衡作用。同时钻具与岩体之间的摩擦阻力,也逐渐减小。

在非平衡钻进中,若钻进的地层稳定性较好,如结构完整的岩层、密实性较高的表土层、瓦斯含量较低的煤系等,其非平衡钻进工艺的条件实现起来较为容易,成孔质量较高。若钻进的地层稳定性较差或存在隐患,如构造破碎带、裂隙发育带、杂添土、富含瓦斯的煤及煤系等,其钻进工艺的条件实现起来就要复杂的多,成孔难度大大增加,尤其对于存在张应力的地层、富含瓦斯的煤系、松散层等,受水力侵蚀影响较大,使孔壁的稳定性更差,造成的坍塌更为严重,孔内的钻进情况更为复杂。

在非平衡钻进中,无论是钻进何种形式的钻孔,泥浆对钻具的浮力较小。

## 3 非平衡钻进中钻具问题

### 3.1 钻具重力对钻孔成孔的影响

在非平衡钻进中,钻具的重力对钻进工艺有着

直接影响。首先钻具重力是随着钻具弯曲度的变化而不均匀地分布在各支撑段的中心, 并且随着钻具的延长和钻孔弯曲度的改变而发生着变化。其次, 钻具重力和钻孔角度关系密切, 角度不同, 钻具重力汇集的位置不同。当钻进仰角孔并且角度较大时, 其钻具的重力向下部汇集, 使钻头附近的钻具失稳。当钻进水平孔时, 钻具的重力被分段分解, 造成非自转回转增加, 同时钻头的重力使钻孔轨迹向下弯曲, 为达到钻孔保直目的, 必要克服重力才能实现。当钻进俯角孔时, 钻具重力向钻孔底部钻头附近汇集, 随着俯角度数的加大, 钻具重力越往下移, 钻具的稳定性逐渐提高。

3.2 钻杆压应力与逆向弹性势能的函数关系

在非平衡钻进中, 钻具弹性系统的变形位能, 是由钻进提供的给进力克服钻具重力、泥浆重力、摩擦阻力之后实现的。非平衡钻进中的钻具重力, 不具备提供相应位能, 或者所提供的相应位能较小而可忽略不计, 所以非平衡钻进的全过程可视为加压钻进。钻杆内部的压应力, 由钻机给进力提供最终纯钻压作纵向传递, 压应力的分布是由钻机动力头夹持钻具处向钻孔底部的钻头逐渐递增, 钻具刚性越好, 压应力递增越迅速, 反之则迟缓。当钻头所获得的压应力值超过钻头刻取岩石的阻力值后, 压应力会迫使钻具产生逆向弹性势能作逆向传递, 其式如下:

$$\sigma_k = f E_p,$$

式中  $\sigma_k$  —— 压应力;

$E_p$  —— 弹性势能;

$f$  —— 岩石抗压强度。

当压应力值增大时, 钻具的弹性势能相应增大, 表现为钻杆柱的弯曲半波挠度增大, 半波长缩短, 频率增高。因此调控钻杆压应力与弹性势能的函数值的关系, 可使其在钻杆柱上形成一个动态平衡状态。在保证钻探工艺参数值处于合理范围条件下, 尽可能将其函数值接近, 并且使其平衡段向钻孔底部的钻具集中, 保证钻杆柱的刚性良好, 满足钻进参数需求。

3.3 钻具在回转中产生的自转与非自转关系

在非平衡钻进中, 由于钻具重力的影响, 使其在回转时承受的受力状态各不相同, 形成两种回转方式: 其一, 由钻机动力提供给动力头的力夹持钻具, 在保持钻具具有一定的平直度、一定的刚性情况下, 能使钻具围绕其轴心作高速匀速旋转, 称为钻具自转。自转是钻具主动回转、钻头刻取岩石所需要的有效转速。其二, 由钻机动力提供给钻具的压应力与弹性势能相互作用, 迫使钻具产生波状弯曲, 使钻具的

刚性降低, 回转的匀速性降低, 钻具在自转的同时围绕钻孔环隙作螺旋式波状旋转, 这种旋转方式称为钻具非自转。非自转是钻具产生的被动回转, 迫使钻具自转性降低, 钻头不能匀速切削岩石, 而且对金刚石造成一定的碰撞破碎, 保径磨损加大, 造成钻孔缩径。因此非自转是有害的, 非自转转速越高, 钻具的失稳性越大, 钻进中要尽量克服非自转因素造成的危害。

钻具的自转与非自转是同时产生的, 其表现形式是自转转速高, 并且超前于非自转转速。当钻具的刚性状态满足自转转速回转要求时, 自转与非自转转速基本重叠; 反之, 钻具刚性状态低于自转转速要求时, 自转与非自转转速分离, 分离的数值越大, 对钻具的危害越大, 钻孔的成孔率越低。

钻具的自转与非自转之间的平衡关系, 对钻孔造成的影响与钻孔环隙比值的设计合理性有直接关系。在钻进参数确定条件下, 环隙比值越大, 钻具绕度越大, 非自转转速则降低, 影响自转转速相应降低。另外, 绕度增大的同时, 螺旋波增多, 扭矩增大, 在重力作用下钻具非自转转动迫使其对钻孔下部产生严重的敲帮, 钻具的损坏程度大大增强。在较软地层中, 钻孔下部发生扩径, 钻孔上部空间增大, 非自转受孔壁约束力减少, 钻具外抛情况严重, 钻杆丝扣损坏和脱扣时有发生。因此应选择合理的钻具级配与钻孔环隙比值来限制非自转转速。

4 钻杆与钻头直径的安全比值关系

钻具级配的设计受所钻地层、钻进工艺参数、钻孔结构设计、钻具材质性能等多种因素的影响。为了确保钻具的安全和钻孔满足成孔技术指标, 在设计钻具级配时应充分考虑其安全性。为了量化钻具级配的安全性, 可建立下述公式:

$$k = \Phi_{\text{钻杆}} / (\Phi_{\text{钻杆}} - \Phi_{\text{钻杆}}) \times 100\%,$$

式中  $k$  —— 钻杆与钻头直径的安全比值。

由上述公式得出的比值, 可以看出如下问题:

- a. 绳索取心钻具的级配系统安全比值最大, 其安全性也最高。
- b. 钻进采用的钻头, 选择粗一级直径的钻杆, 其钻具级配安全性高。
- c. 钻头与钻杆级配安全比值越小, 钻具的安全系数就越低。
- d. 钻头与钻杆级配比值越大, 说明钻具的刚性越好, 越能承受高转速、大钻压; 反之, 则钻具刚性下降、转速减慢、钻压降低、钻效降低。

当前, 在非平衡钻进中基本沿用平衡钻进钻具

级配系统的级配。这显然不够合理,应尽量往  $k$  值高的钻具级配值上靠。如钻进  $\Phi 200$  mm 直径的钻孔,采用  $\Phi 63.5$  mm 或  $\Phi 71$  mm 直径钻杆,其安全性就高的多;若采用  $\Phi 50$  mm 直径钻杆,则钻具安全性就低的多。

## 5 非平衡钻进中钻头设计应注意的几个问题

在非平衡钻进中,钻头始终承受着重力与给进力合力的作用。钻头自身的重力大小,对钻头承担其合力的大小直接有直接关系,钻头越重其合力值越大,保直钻进的难度就越大。

钻头承担的合力,使钻头在切削岩石过程中受力不均,造成较为严重的偏磨现象。以磨削为主的钻头,如金刚石孕镶钻头等,其产生的偏磨现象较轻。以剪切为主的钻头,如 PDC 钻头、合金钻头等,其产生的偏磨现象较为严重。

钻头唇面布齿的合理性,对钻头承担的合力有重要影响,钻头唇面布齿均匀,各齿分担的合力较为均匀,抵抗唇面受力不均匀性能增强,抵抗钻头偏磨作用大大提高。若钻头唇面布齿不均匀或齿间距过大时,各齿承受切削时间延长,不均匀受力分散较慢,所以防止钻头唇面不均匀受力状态降低,抗偏磨能力降低,刃部抗冲击能力降低。因此在钻头设计时,应注意保持底唇布齿的均衡性和合理性。若是阶梯状钻头,其台肩距离不能过大,台肩布齿不能少于底唇布齿。

钻头在切削过程中,其合力作用在钻孔底部,形成一个主受力区。主受力区的范围大小,由钻具保直度与给进压力大小来决定。主受力区面积大,说明钻具保直度低,钻具挠度大,非自转转速高,切削均匀性降低,钻孔弯曲复杂;若主受力区面积小,说明钻具级配合理,扶正器旋转恰当,钻具保直度高,自转转速高,钻头切削效率高。

## 6 扶正器在非平衡钻进中的应用

应用扶正器能稳定钻头切削、抵挡钻头重力与给进力合力,减小非自转作用,在非平衡钻进中对钻头失稳起着重要作用。对于松软地层钻进,扶正器的设计应具备 3 个功能:一,对钻孔壁有修复作用;二,

对掉块、沉渣、坍塌造成阻钻、埋钻等事故,应具有钻进及修复作用;三,在起拔钻具时,若同样遇到阻钻、埋钻、跑钻等事故,应具有反向钻进和修复作用。目前扶正器大致分为 3 类:一是随钻具同时旋转式扶正器;二是不随钻具旋转的非旋转式扶正器;三是随钻具限位滑动式扶正器。在扶正器的设计上,应注意以下几个问题:

a. 非平衡钻进所遇到地层较为复杂,多要求裸孔,污染要小,因此扶正器在扶正钻具的同时,还要兼顾在孔内发生埋钻事故或缩径现象时,具有切削和扩孔及修复钻孔的作用;

b. 扶正器外沿采用流线型设计对排渣有利,对孔壁的保护较好;

c. 要考虑扶正器安装、拆卸方便和使用可靠。使用扶正器在非平衡钻进中应注意以下问题:

a. 受重力和给进力的合力作用,扶正器始终接触孔壁的下部。一般来说它对于硬岩影响较小,可选用非旋转式扶正器;对于软岩影响较大,选用旋转式扶正器或限位滑动式扶正器效果更好。

b. 扶正器的放置与钻具的刚性和岩性都有关,尤其是软岩钻进钻压小、钻渣多,易坍塌,这样形成的孔壁上部空间会使扶正器失去效用,因此软岩钻进工艺参数的选取十分重要。

c. 扶正器放置的数量应尽量少,因为长距离钻孔本身排渣就不好,扶正器的前端易形成堆渣而抬高,改变钻具弯曲形状,达不到钻进要求,还易造成孔内事故。

d. 采用扶正器钻进时,应尽量选择无心钻进或绳索取心钻进,旨在减少起下钻次数,尽量保护孔壁的完整性。

e. 水平钻进或俯角钻进时,其泥浆的流动性较差,受钻孔弯曲的影响,泥浆呈断续状流动,钻渣冲排不净,易抬起钻具,阻滞钻进。

非平衡钻进中使用的钻具要充分考虑其特殊性。在钻具的设计中要采用大扭矩钻杆和接头,以克服钻孔中发生的各种灾害情况。扶正器的功能设计要考虑能适应多种环境,采用流线型设计较好。要综合考虑钻具的使用情况,优化设计钻进工艺系统,最终才能达到满意的效果。(收稿日期 2000-03-08)

## DRILLING TOOL PROBLEM CONCERNING NON-BALANCED DRILLING

Ma Shenqi (Xi'an Branch, CCRI)

Wang Yanhong (Taoyuan Coal Mine, Huaibei Mining Inc.)

**Abstract** The non-balanced drilling technique is development in recent years and used under different conditions. The drilling tool problems concerning non-balanced technique and some concrete problems in application are discussed in this paper.

**Keywords** non-balanced drilling; drilling tool; drilling technique