

# 煤矿瓦斯地质钻探用钻杆工作机理探讨

马沈岐, 汪 芸

(煤炭科学研究总院西安研究院钻探技术研究所, 陕西 西安 710077)

**摘 要:**在非平衡条件下进行的瓦斯地质钻探工作中,根据不同的瓦斯地质条件设计、制造不同类型的钻杆,在解决松软煤层的钻进中取得了较好的效果。结合实际工作中不同钻杆的使用情况,对其排渣机理、适用条件以及应用中要注意的问题和工艺参数进行了论述,对钻具级配的选择具有指导意义。

**关键词:**煤矿瓦斯;地质钻探;钻杆;非平衡条件;排渣机理;工艺参数

**中图分类号:**P634.4<sup>+</sup>2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)09-0011-05

**Research on Working Mechanism of Drilling Pipe for Geological Drilling of Coalmine Gas/MA Shen-qi, WANG Yun**  
(Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an Shanxi 710054, China)

**Abstract:** Good progress has been made in the drilling work under unbalanced conditions by designing and producing different drilling pipes on the basic of different gas geological conditions. The paper expounds the slag discharging mechanism, the scope of application, as well as the attentions and technological parameters of different dilling pipes.

**Key words:** coalmine gas; geological drilling; drilling pipe; unbalanced condition; slag discharging mechanism; technical parameters

## 1 煤矿瓦斯地质钻探钻杆种类及适用条件

目前,煤矿瓦斯地质钻探中使用的钻杆主要有以下 4 种:(1)外平式钻杆;(2)垫叉式钻杆;(3)三角式钻杆;(4)螺旋式钻杆。选择确定钻探用钻杆由钻杆受力的方式、排渣介质的排渣机理、钻进工艺参数等诸多条件决定的,因此,在确定使用何种钻杆时,首先要根据瓦斯地质条件选择排渣介质,其次由排渣介质决定钻杆的受力方式,再次则是根据钻进工艺参数实施具体的操作,建立相应的操作规程,确保瓦斯地质钻进的实施。

煤矿使用的排渣介质主要有水力排渣和风力排渣。适用水力介质排渣的钻杆有外平式钻杆和垫叉式钻杆;适用风力介质排渣的钻杆有三角式钻杆和螺旋式钻杆。

## 2 钻杆选用所依据的综合条件

根据瓦斯地质钻探工艺的要求,选用钻杆的综合条件包括:钻机类型和参数、不同的冲洗介质所具有的不同排渣机理、瓦斯地质钻探工艺实施的难易程度、选用的钻头类型、新技术新产品的应用推广程度和管理实施效能等多重因素。

从钻杆使用的发展情况来看,在  $\varnothing 42$ 、50 mm 钻杆占主导市场时,使用的钻机能力参数都相对较小,

并且以清水为主要排渣介质,通过水力冲击产生的动力携带、运移钻渣为主的钻进工艺。瓦斯地质孔的设计参数是以小孔径、浅深孔、钻场密集布孔方式实施的,钻杆的形状也是以外平形式为主。随着新型钻机的研发、生产,钻机的能力参数大大提高,适应的工艺方法也有很大的扩展,目前使用的钻杆多为  $\varnothing 63.5$ 、73、89 mm 等,瓦斯地质钻孔的设计参数也发展成为大孔径、中深孔、稀疏布孔的方式,现场施工条件也大有改善。在瓦斯地质条件较好的情况下,采用外平式钻杆,使用清水作为排渣介质施工的钻孔,钻深可达近千米。

对于软煤层和复杂地层的钻进,孔内事故频发,瓦斯喷突情况严重,水力切割严重影响软煤层的稳定等多种因素,导致了孔壁难以成形,孔径、钻深都受到很大影响,致使在复杂地层中进行的非平衡条件下的钻探工艺实施困难。为了克服上述困难,研发了风动力钻进工艺。根据风力排渣机理,压力风悬浮、携带、运移钻渣的条件,钻杆必须具备搅动孔底钻渣使之悬浮起来的功能,钻孔环状间隙必须具备较大的空间环境,利于钻渣悬浮、运移的条件,因而开发出了等边三角形钻杆和螺旋钻杆等。

等边三角形钻杆的三条边楞,具备了搅动孔底大部分钻渣围绕着钻孔环状间隙作周向运动的作

收稿日期:2008-03-28

**作者简介:**马沈岐(1957-),男(汉族),山西人,煤炭科学研究总院西安研究院钻探技术研究所工程师,钻探工艺专业,从事煤矿瓦斯地质钻探工艺研究与技术推广工作,陕西省西安市锦业一路 82 号, mashenqi168@163.com;汪芸(1980-),女(汉族),甘肃人,煤炭科学研究总院西安研究院钻探技术研究所助理工程师,材料成型及控制工程专业,从事钻探机具标准规范及技术开发和研究工作。

用,同时在压力风的作用下使钻渣处于悬浮、运移状态。另外,钻孔还具有了较大的环状间隙条件,对于较软煤层中相对稳定的煤层钻进,具有一定的优势,成孔条件也大大改善,孔深、孔径的终孔参数也有一定的提高。但是,对于在极不稳定的软煤层中钻进,孔内一旦发生塌孔事故将很难处理,这与等边三角形钻杆三条边受力条件有很大的关系,在使用等边三角形钻杆钻进中,由于受力大,丝扣连接部位承受的扭矩很大,在使用中比较容易被扭断,发重掉钻事故。

螺旋钻杆翼片的自升角携带钻渣和压力风悬浮携渣,其功用可以单独使用,也可以二者结合使用,从而形成了不同的钻探工艺方法,对于软煤层或复杂地层的钻进具有各自较好的优势。压力风钻进的携渣条件决定了钻孔深度和孔径势必要受到了一定的限制,目前采用压力风钻进实现的孔深大多为 200 m 左右,孔径 200 mm 左右。螺旋钻杆是全孔段携渣,其受力很大,尤其是在频繁换接螺旋钻杆的工况下,每次启动螺旋钻杆时需要钻机提供较大的扭矩力才能开始回转工作。使用螺旋钻杆要求瓦斯地质条件具有一定的稳定性,很不稳定的煤层也不宜使用螺旋钻杆钻进,一旦孔内发生塌孔埋钻类事故,将很难处理。

### 3 不同钻杆所适应的不同工况

#### 3.1 卡槽式钻杆工作工况分析

卡槽式钻杆用在立轴式钻机和半液压式钻机卡持钻杆部分要由垫叉来卡持钻杆,实现钻杆的拧卸、接杆、防脱等功能。在煤矿井下,由于巷道钻场的空间限制和瓦斯地质钻探工艺的特殊性,立轴式钻机和半液压动力头式钻机受限于瓦斯地质钻探的施工要求,因此,在一定的程度上逐渐淡出了煤矿坑道钻机的市场,所以,卡槽式钻杆也就随着钻机的退出而逐渐退了出来。

#### 3.2 外平式钻杆工作工况分析

外平式钻杆适用于全液压动力头式钻机,由液压卡盘和液压夹持器相互配合完成夹持、拧卸钻杆,实现钻杆的拧卸、接杆、防脱等功能。使用外平式钻杆的全液压钻机操作便捷、自动化程度高、现场施工人员便利安全避让钻孔瓦斯喷出或突出情况、有利于现场施工人员的安全撤离等,可以有效防范孔内瓦斯突出或喷出造成的事故。外平钻杆与钻渣和钻孔壁之间产生的摩擦阻力值最小,适应的钻进参数值范围较宽,所以,外平式钻杆在煤矿瓦斯地质钻进

中获得了广泛地使用。

在瓦斯地质钻进中,外平式钻杆主要适用于采用清水作为排渣介质的钻进工艺。清水的排渣机理是以水力冲击、携带、运移排渣为主的,携渣的能力与清水的流量和流速关系密切,与钻孔的设计参数和实际钻进轨迹关系密切,与钻孔的深度和排渣时间关系密切,外平钻杆适应的瓦斯地质条件相对要稳定,孔内事故种类要视具体情况而定,例如,卡钻、埋钻类事故比较适用于外平钻杆来处理,当然在钻具级配上要使用新的设计方案。

外平式钻杆的工作工况是在非平衡条件下,钻杆的自重使钻杆与钻孔底部始终保持轴向一条线状接触,当钻杆受到加压和回转合力作用较大时,钻杆形成柔性的正弦波形弯曲,并产生公转效应,迫使钻杆围绕着钻孔直径产生回转,钻杆回转方向与钻孔环隙之间形成的渣楔成为不连续状态,导致水力排渣过程断续性受阻;在打钻的过程中,保持钻进参数掌控在正常钻进参数范围内时,钻具能够很好的保持刚性体,即钻杆的回转稳定在自转状况下,实现匀速钻进。钻杆回转方向与钻孔环隙之间形成的渣楔相对较稳定,渣楔对钻杆产生的偏顶效果,会长时间的迫使钻杆向回转方向与重力形成合力方向偏移,影响钻孔轨迹的延伸发展。目前使用的钻杆是建立在平衡钻探工艺条件下设计的钻杆,钻杆的壁厚和丝扣连接还存在一定的设计问题。在新建立的非平衡钻探工艺理论条件下设计的钻杆,在钻杆材质上、壁厚上、丝扣扣形上都有新的发展,更加适合瓦斯地质条件下的钻进需求和起拔钻进要求。

#### 3.3 等边三角形钻杆工作工况分析

设计等边三角形钻杆的目的,主要是为解决软煤层中采用压力风钻进、孔内排渣困难这一难题而设计制造的,如图 1 所示。等边三角形钻杆目前适用的钻机类型主要是全液压动力头定长钻杆式钻机,夹持器卡瓦的形式也改为等边三角形夹持方式。等边三角形钻杆与钻渣和钻孔壁之间产生的摩擦阻力比较大,因而适应的钻进参数范围也较窄。目前使用等边三角形钻杆的煤矿钻探队并不多,主要的问题反映在钻杆丝扣连接处易被扭断,孔内发生塌孔、卡钻等事故较多时,处理起来困难很大。

等边三角形钻杆主要适用于采用压力风作为排渣介质的钻进工艺。压力风的排渣机理是以风压悬挂钻渣、风量携带钻渣、风速运移钻渣的方式来排渣的。在煤矿井下现在使用的风压值大多数为 0.6 MPa 左右,风压值相对较小,尤其是在煤矿井下,打

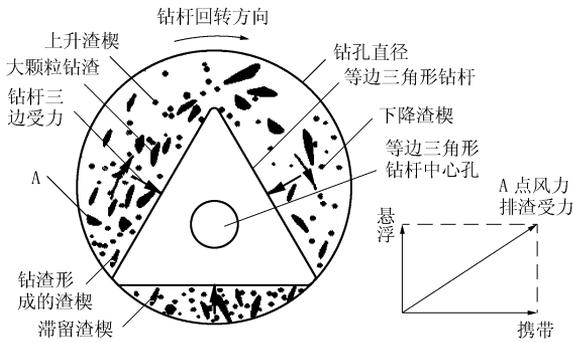


图 1 三角式钻杆排渣机理示意图

钻采用的工况是短钻具、频繁停风、换接钻杆、送风钻进的过程,频繁沉积的钻渣要被压力风悬浮起来的初速度很大,风量在携带钻渣时损耗也较多,受大量钻渣的阻力影响和随钻孔深度的延伸消耗,压力风在返出钻孔时衰减过快,从而导致大量钻渣沉积在钻孔后端,致使钻深受到严重阻碍。

等边三角形钻杆的工作工况是在非平衡条件下,钻杆的自重使钻杆与钻孔底部的弧段保持着两条轴向线状接触,受三角形稳定性的作用,在钻杆受到加压和回转合力作用时,钻杆的刚性条件较好,另外等边三角形钻杆的三条边受力较大,因而制约了钻杆的回转速度不能过高。等边三角形钻杆形成 3 个弦状的间隙,在回转方向上端形成较大的上升渣楔,随着钻杆边的拨动,钻渣被压力风悬浮起来,同时在风量、风速的作用下向孔口携带运移;而在回转方向的下端,滞留下未被携带走的钻渣形成下降渣楔被带入底部的弦状间隙,在底部的钻渣无法被压力风悬浮起来,因而不能参与排渣过程,致使这部分钻渣滞留在孔内。在连续的工作中等边三角形钻杆正是利用了钻杆三边棱的搅动作用,在回转过程中搅动孔内沉积的钻渣,使钻渣悬浮起来,然后经风力将悬浮的钻渣携带、运移排出钻孔。在实际使用中,三角形钻杆确能促进排出较多的钻渣,使钻进孔深延长。但是,三角形钻杆的 3 个边受到钻渣阻力很大,在钻进中形成了很大的回转阻力,一旦孔内发生坍塌埋钻等事故时,三角形钻杆将承受很大的扭矩,回转起来的难度大大增加,这也导致了三角形钻杆联接丝扣部位,在钻杆受到很大扭矩作用时,容易被扭断的原因。三角形钻杆在孔内多发事故的情况下一定要慎重选用,掌握好钻进参数的运用,防止因发生事故导致三角形钻杆断到钻孔里。目前,三角形钻杆在软煤层钻进中有一定的效果,但是,由于其结构上的限制,导致了三角形钻杆使用范围受到了限制。

### 3.4 螺旋式钻杆的结构和使用条件

针对稳定性较差的煤(岩)层钻探,采用螺旋钻杆钻进 200 m 左右深的钻孔具有一定的优势。根据螺旋钻杆的结构形式分为宽叶片螺旋钻杆和窄叶片螺旋钻杆;根据螺旋钻杆排渣动力方式分为无动力螺旋钻杆和有动力螺旋钻杆。螺旋钻杆是将螺旋叶片焊接在外平钻杆上,其钻杆之间的连接方式可以采用插接方式将卡键插入卡槽连接而成,这种连接方式保证螺旋式钻杆在工作中,为了更好地处理孔内事故,可以进行正反方向的回转,松动被埋螺旋钻具,方便钻渣的排出,实现较深孔的钻进。另一种连接方式是采用丝扣连接,该种联结方式只允许螺旋钻具右旋方向回转。使用螺旋钻杆要求钻机提供的能力参数比较大,螺旋钻杆的强度要高,抗扭矩能力要大。对瓦斯地质条件很不稳定的煤层不宜使用螺旋钻杆,在钻孔设计上要做充分的考虑,合理的钻具级配。

#### 3.4.1 无动力螺旋钻杆工作工况分析

无动力螺旋钻杆是靠螺旋叶片的自升角在回转中将钻渣携带排出钻孔的,这种螺旋钻杆对于相对较稳定的松软煤层钻进有较好的效果。因为没有使用压力风,钻场的粉尘污染状况比较好。但对于坑道钻机来说,要求提供较大的扭矩和起拔能力,在钻进中对工艺参数的要求也较为严格。影响螺旋钻杆钻进的主要问题有:

(1) 要防止疏松的煤层发生较大范围的坍塌,造成严重的埋钻事故,致使螺旋钻杆的回转扭矩增大,甚或发生回转卡死的情况,以致于造成事故。

(2) 要注意破碎地层和小构造带,如果螺旋钻杆一旦进入这类地层,螺旋钻杆被卡住的情况也是很严重的,形成事故后处理难度很大。

(3) 螺旋钻杆工作的参数要求是低转速、大扭矩、适中钻速;在实际钻进中控制好钻进参数是保证正常钻进的重要工艺条件,例如,在淮北某矿使用无动力螺旋钻杆时,由于煤层内产生瓦斯顶钻,煤层的稳定性较差,加之使用的钻机能力偏小,钻杆心轴较细,当孔内发生异常情况时,钻杆受力增大,回转起来很困难,当强行起拔钻进处理孔内事故时,则发生螺旋钻杆被扭断的事故。

(4) 地应力较大的地层,在使用螺旋钻杆时要关注钻进参数的变化,发现参数向非正常参数区间变化时,必须及时撤回钻具,疏通孔内受地层压力而改变的孔径,尽量消除地应力的影响。

因此,目前在煤矿使用无动力螺旋钻杆时,钻杆

的心轴直径与螺旋叶片宽度、厚度选取的尺寸都有相应的增加,这与瓦斯地质钻探中综合技术的运用有关。

无动力螺旋钻杆工作工况是螺旋钻杆叶片受重力作用始终与钻孔底部接触,螺旋叶片与孔壁下部产生较大的摩擦阻力,螺旋叶片在携渣的同时对钻孔底部进行了刮削作用,使钻孔呈鸭梨形状。随着钻具的回转,附着在螺旋叶片上的钻渣被携带出来。螺旋叶片的携渣能力和携渣量与钻杆回转速度有一定的关系,因而要求钻速要有一个合理的参数值。在矿井瓦斯地质钻进中,根据不同的瓦斯地质条件总结出相应的钻进正常参数区间,是确保安全钻进的必要条件。

#### 3.4.2 有动力螺旋钻杆工作工况分析

有动力螺旋钻杆的工作工况是由短螺旋钻杆通过锥形丝扣连接起来,中心通孔输送压力风,在钻进中,压力风对钻头一方面进行冷却、对软煤(岩)层进行适度的风力切割,另一方面对钻渣产生风力悬浮、风量携渣和风速运移,同时和螺旋叶片自升携渣能力形成共同的排渣作用,使排渣的效果大大提高。风力排渣时要做好钻场的防尘工作,否则,粉尘会弥漫整个钻场,对现场造成很大的污染。在软煤层钻进中,使用有动力的螺旋钻杆情况较多,钻进效果也好得多。

#### 3.4.3 螺旋叶片尺寸的大小对排渣情况的影响

目前,使用的螺旋钻杆都是大叶片螺旋钻杆,其结构是螺旋叶片略小于钻头,即整个螺旋叶片基本上充满了钻孔。这种螺旋钻杆在排渣过程中,钻渣随螺旋叶片的回转而上升排出的同时,由于钻渣受重力作用会发生沉积,在煤矿井下短钻具工作状况下,螺旋钻杆携渣是不均匀的,孔内易形成堆状的拥渣,在螺旋叶片上的拥渣和钻孔壁上部形成拥挤的状况,导致螺旋钻杆承受着较大的回转扭矩,而且排渣的阻力很大,造成的排渣效果却较差。同时拥堵的钻渣与孔壁之间形成挤压错动,对软煤层孔壁形成较大的破坏,使成孔难度大大增加。

在使用压力风排渣中,钻孔的环状间隙几乎被螺旋叶片占满,对压力风悬浮钻渣阻滞很大,致使风力排渣不畅通。据此情况,为了保证孔内风力排渣有一定的空间,同时保持螺旋叶片的携渣能力,新设计和制造了短螺旋叶片的螺旋钻杆,如图 2 所示。短螺旋叶片钻杆既可以保持螺旋叶片自升角的排渣能力,同时也给钻孔环状间隙留出了一定的顶部空间,减少压力风悬浮、携带、运移钻渣所受到的相互

阻力,悬浮排渣的速度远高于螺旋钻杆携渣、排渣的速度,在确定有效的钻进参数下,使得排渣效果更为有利,钻进的效率有较大的提高。

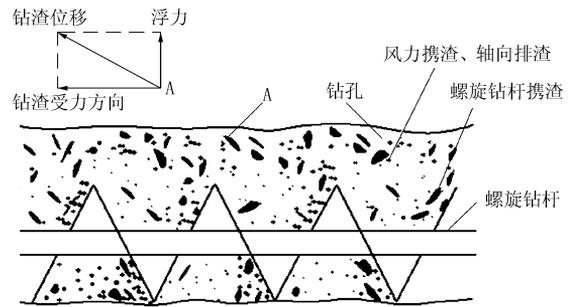


图 2 半螺旋叶片钻杆在压力风钻进中携渣、运移示意图

针对现有的螺旋钻杆,在适当增大钻头直径的结构下,同样也可以实现短螺旋叶片钻进的效果,但是钻头的直径较大时,对孔壁的稳定不利,另外较大的环状间隙对于易坍塌的煤层来说,坍塌的煤渣量较大,造成的排渣量大大增加。因此选择钻头直径的大小,要视煤层结构、软硬程度来定。

## 4 不同钻杆的工作技术要求

不同类型的钻杆在工作中受力状况是不尽相同的,因而在操作工艺上、钻具级配上、地层适应性上、排渣介质选取上都有不同的要求,确定选用何种钻杆和相应的技术参数是瓦斯地质钻探工艺中的重要环节。

### 4.1 外平钻杆

外平钻杆结构特点与排渣机理决定了钻杆与钻孔壁、钻渣之间所产生的摩擦阻力最小,对于处理卡、埋钻具等事故的难度也最小;在使用清水作为排渣介质中,钻孔环状间隙对排渣形成的阻力也最小;钻杆易于进行有效的钻具级配,有利于保直刚性钻进,因而在长钻孔钻进中选用的钻杆都是外平钻杆。在非平衡条件下外平钻杆能达到的回转转速是最高的。

在目前传统钻探条件下,外平钻杆的工作技术要求包括:(1)选取合理的钻具级配关系和保直钻进的结构要求;(2)根据瓦斯地质条件,选取合理的钻进参数,减少孔内事故的发生率;(3)在操作工艺上既要保持合理的钻进效率,又要保证钻孔轨迹的变化在合理的设计范围内,保证孔内输渣通道的畅通;(4)操作外平钻杆时要注意解决轴向跳动和径向跳动的问题,操作规范要求是在钻具启动和停止时,要执行柔性操作,禁忌急开急停;(5)外平钻杆与新设计的正反向一体化钻头组成新的钻具组合,

可以有效地解决起拔钻进工艺中发生的不同事故,为实现最终的完钻工作提供了新的工艺和钻头技术。

#### 4.2 三角钻杆

三角钻杆的结构特点与排渣机理决定了钻杆与孔壁、钻渣之间所产生的摩擦阻力较大,钻杆的三条边在拨动钻渣时,所需的转距较大,钻进中一旦发生孔内坍塌类事故,将很难处理。三角钻杆是针对软煤层、采用压力风钻进而设计的,不利于深孔钻进,钻机的扭矩不宜过大,转速一般偏低。

在非平衡条件下三角钻杆的工作技术要求包括:(1)确定煤层的地质条件,过于松软和动力型煤层不宜使用。(2)确定合理的钻具级配关系,若钻孔环隙较小,则容易引起钻渣挤压孔壁,使孔壁不稳,易发生坍塌,同时也不利于压力风悬浮排渣,运移通道受阻严重排渣困难;若环隙较大,则容易引起不稳定的孔壁发生严重的坍塌,造成埋钻事故。(3)选取合理的钻进参数,即转速不宜高、钻压要小、钻速适中,观察孔内的排渣量,若发生较大的排渣量时,应及时控制参数,缓慢钻进或停止钻进,将孔内发生的坍塌事故处理后再行继续钻进。(4)使用三角钻杆忌讳采用强力扭转方式,这样会导致钻杆被扭断,这类事故较常发生,因此孔内的排渣时间要相应延长,风压、风量要保证持续稳定。

例如河南义马矿务局某矿使用三角钻杆钻进松软煤层的钻进参数为:钻孔设计深度为 50 m,孔径 94 mm,三角钻杆直径 73 mm。正常钻进中的转速为 60~140 r/min,钻进压力 4~6 MPa,起拔钻进压力 4~8 MPa;当孔内发生坍塌、卡钻事故时,非正常钻进中的转速为 30~60 r/min,钻进压力 <4 MPa,起拔钻进压力 <20 MPa。在操作时不能使用大扭矩回转参数,在钻进中使用大扭矩回转,曾导致三角钻杆被扭断。采用往复拉送钻杆,缓慢回转钻杆的方式,尽量疏通钻孔,让压力风尽量排出钻渣,直至恢复到正常钻进参数范围再行钻进。煤矿井下使用的风压大多数在 0.6 MPa,由于风压偏低,影响到孔内的排渣效果。

#### 4.3 螺旋钻杆

螺旋钻杆的结构特点和排渣机理决定了钻杆与孔壁、钻渣之间所产生的摩擦阻力最大,螺旋钻杆携渣多,整体质量较大,在旋转的同时对钻孔底部起到刮削作用,使钻孔易形成鸭梨形状。在松软煤层中使用有动力螺旋钻杆还是无动力螺旋钻杆,要视松

软煤层的特性来决定。

在非平衡条件下螺旋钻杆的工作技术要求包括:(1)确定煤层的地质条件,选用相应的螺旋钻杆和排渣介质;(2)确定合理的钻具级配关系,确保排渣通道的畅通,减小拥挤钻渣对孔壁的破坏;(3)螺旋钻具适应的钻进参数为大扭矩、中低转速、适中钻速。

例如阳泉矿务局某矿在钻进松软煤层中,设计深度为 90 m,螺旋钻具的钻进参数为:正常钻进中的回转压力为 5~10 MPa,孔内出现坍塌情况时,非正常钻进的回转压力为 10~20 MPa;正常钻进中的转速为:60~100 r/min,孔内出现坍塌情况时,非正常钻进中的转速为 30~60 r/min;正常钻进中的钻速为 15~26 m/h,非正常钻进中的钻速为 3~10 m/h。从操作工艺上讲,此时发生的问题不宜继续钻进,而是采取往复拉送钻具进行排渣,待钻进参数恢复正常后,再继续钻进。正常起拔钻进中的起拔压力为 3~5 MPa,孔内发生塌孔事故时,非正常钻进起拔压力为 15~20 MPa,在处理坍塌事故时,不能使用强力起拔钻进方式,而应调整钻机参数为大扭矩、低转速、往复拉送钻具,进行疏渣排渣直至钻进参数正常为止。

## 5 结语

煤矿井下使用的不同钻杆,在近年来有了一定的扩展,针对不同的瓦斯地质条件、钻探设备条件、钻探工艺条件、排渣介质条件等技术的研究与应用,在一定程度上解决了瓦斯地质条件下的软煤层钻进、延展钻孔深度、提高钻孔壁的稳定性和延长钻孔的排瓦斯寿命等钻进难题。但这仍然是很不够的,瓦斯地质钻探工作中的难题仍然很多,今后需要不断研究开发。

## 参考文献:

- [1] 马沈岐. 瓦斯地质钻探工艺研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(2).
- [2] 马沈岐, 刘凤琴, 张艳菊. 大口径瓦斯地质孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(11).
- [3] 马沈岐, 王彦红. 非平衡钻进中的钻具问题[J]. 煤田地质与勘探, 2000, (6).
- [4] 马沈岐. 煤矿井下大口径瓦斯抽放孔钻探工艺[J]. 煤田地质与勘探, 1995, (6).
- [5] 马沈岐. 孔内煤与瓦斯突出机理与钻进工艺[A]. 世纪之交煤矿地质学术论文集[C]. 西安: 西安地图出版社, 1999.