

# 松软煤层风力钻进工艺

马沈岐

(煤炭科学研究总院西安研究院钻探技术研究所, 陕西 西安 710054)

**摘要:**松软煤层在我国分布很广,采用风力钻进工艺,从钻探技术装备和瓦斯地质钻探工艺上,形成了较为完整的体系,通过风力钻进工艺在多家煤矿的应用,在钻深、孔径和钻孔保存维持较长抽采时间上取得了良好的技术成果。

**关键词:**松软煤层;风力钻进;装备工艺;机理方法

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)11-0025-04

**Air Drilling Technology in Soft Coal Seam/MA Shen-qi** (Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** The soft seams are distributed widely in China; the drilling equipment and gas geological drilling have formed a relatively complete system with air drilling technology. By the application of air drilling in many coal mines, good technical effects have been achieved in drilling depth and hole diameter and a longer gas extraction time of a borehole.

**Key words:** soft coal seam; air drilling; equipment and technology; mechanism and method

## 1 概述

在松软煤层中钻进,形成抽采瓦斯钻孔通道,抽采松软煤层中赋存的瓦斯,是目前瓦斯地质钻进中的一项难题。近年来通过对松软煤层钻进技术装备及工艺的课题研究和大量的煤矿井下钻进试验,形成了松软煤层钻进的系列装备和风力钻进工艺系统。本文根据在相关煤矿进行松软煤层钻进的科研与实践工作,总结了风力钻进松软煤层的瓦斯地质钻进工艺,对目前有关松软煤层钻进工作的煤矿,具有一定的借鉴与指导意义。

## 2 松软煤层的类型

松软煤层是近些年来治理其中富含的瓦斯而划分出的,目前对松软煤层没有严格的划分标准,根据成煤的条件、受构造运动的影响、水力侵蚀作用等,将松软煤层大致划分为4种类型:

(1)受成煤地质条件作用,形成的煤质松软、结构松散、硬度较低、透气性较差等特性的煤层,称为原生状态的松软煤层。

(2)受地质构造条件作用,形成的煤质较硬、结构破碎,呈糜菱状结构等,煤渣个粒硬度较大,但煤层整体又很松软、透气性较好等特性的煤层,称为构造型的松软煤层。

(3)受地下水侵入条件作用,形成的含水煤层,

煤质较软、结构疏松、透气性差,具有密闭性,易形成条带状局部的高压瓦斯包等特性的松软煤层,称为地下水侵入状态的松软煤层。

(4)受大地构造运动作用,煤层后期裸露,形成的风化型松软煤层,煤质较软、结构破碎、硬度较小、透气性较好等特性的松软煤层。

## 3 煤矿井下动力风的供风方式

煤矿井下进行风力钻探,其动力风的提供方式分为,煤矿提供的系统动力风,风压在工作面现场一般能达到0.4~0.6 MPa之间,风量8~10 m<sup>3</sup>/min,根据钻场引风管出口的直径,风压、风量具体的发生变化。矿井压风系统供风的优点:压力风管路随巷道走,不用专用的压风设备,连接方便。存在的缺点是风压、风量相对较小,制约了钻孔参数的扩大,对深孔钻进制约尤为严重。

另一种供风方式采用防爆移动式空压机提供,较常用的一款防爆移动式空压机的参数为:供风压力为1.2 MPa,风量17 m<sup>3</sup>/min。另外根据瓦斯地质钻探工艺的需要,可选用其它参数的空压机。采用防爆移动式空压机供风的优点:可随井下钻场的不同随时搬迁,属于专风专用,供风压力稳定,风量补充及时,风量损失峰值较小,排渣效果好,有利于实施大孔径、中深钻孔的松软煤层钻进施工。存在的

收稿日期:2010-09-10

作者简介:马沈岐(1957-),男(汉族),山西平顺人,煤炭科学研究总院西安研究院钻探所高级工程师,钻探工艺专业,从事煤矿瓦斯地质钻探工艺研究以及技术推广等工作,陕西省西安市高新开发区锦一路82号(710077),mashenqi168@163.com。

缺点是必须提供专用的压风机设备,井下运输、搬迁都比较麻烦,对巷道截面积有具体的尺寸要求,因此对于巷道较窄的矿井不能使用。

#### 4 风力钻进的钻探设备和工艺系统

构成风力钻进的设备系统包括:煤矿用坑道钻机、螺旋钻具、松软煤层钻头、无动力三级除尘器、流量计、钻孔测斜仪等,以及运用上述设备构建的风力钻进工艺系统。在非平衡基础理论条件下实施的瓦斯地质钻探工程,对钻探设备需要大能力、宽范畴的参数范围,在确保钻进参数要求范围内,更要有能力来处理各种孔内出现的复杂事故。对于工艺的要求则是确保裸眼钻进时,能尽量少扰动松软的、不稳定的钻孔壁,使钻孔通道保持畅通利于瓦斯较长时间的抽采。另外,煤矿瓦斯地质中的复杂地层需要有大能力参数的钻机进行钻进和处理发生的事故,也需要大能力的钻机来进行多种工艺的实施保证。使用风力钻进工艺,孔口除尘是重要的技术,目前已有无动力除尘器、空气泡沫除尘器、射流喷水(雾)除尘器等,在煤矿的应用中取得了很好的除尘效果。

#### 5 风力钻进使用的钻杆

风力钻进目前采用的动力有两种形式:一种是由钻机动力头提供动力,另一种是由钻机动力头和孔底潜孔锤复合提供动力。在非平衡钻进条件下,不同的钻进形式对钻杆的结构提出了不同的要求,例如,重庆南桐局的部分煤矿钻孔仰角 $>40^\circ$ 、黑龙江双鸭山局的部分煤矿钻孔仰角 $>50^\circ$ 等。仰角钻孔采用的钻杆一般都是外平钻杆,这与钻孔排渣机理关系密切;在淮北部分煤矿,煤层受褶皱构造作用形成褶曲,煤层角度在 $-40^\circ$ 左右,煤质极其松软,只能采取全螺旋钻杆干钻的方式钻进,收到了满意的效果;在淮南、河南、吉林等地的众多煤矿中,采用近水平或者角度比较小的钻孔参数钻进中,针对煤质松软,并且积聚瓦斯,在钻进中煤层与瓦斯受扰动影响,发生喷突作用的煤层,目前有效的采用宽叶片小螺旋钻杆,是解决这类地层瓦斯抽采钻孔钻进的好方法,并且在科研和实践中均取得了满意的效果。

螺旋钻杆的排渣速度对决定钻进工艺参数至关重要,为了实现快速钻进的目的,首先采用相位焊接技术,使钻杆之间的螺旋叶片衔接实现平滑过渡,减小了螺旋叶片因错位形成的阻力,提高了螺旋叶片的携渣能力和排渣效率;其次为了实现快速钻进,研制双螺旋叶片钻杆,在煤层中钻进,双螺旋叶片钻杆

的最佳转速在 $170 \sim 230 \text{ r/min}$ 之间时,钻杆携渣效率能提高 $7\% \sim 10\%$ ,并且煤中含一定的水分时,排渣效果更好。通过在煤矿的现场试验,同等条件下,双螺旋叶片钻杆实现的钻深是单螺旋叶片钻深的近1倍。另外试验了三螺旋叶片钻杆,其效果并不佳,这从螺旋钻杆运移携渣机理的分析中也能得出相关的结论。

#### 6 风力钻进使用的钻头和扶正器

风力钻进中采用不同的瓦斯地质钻进工艺,所使用的钻头亦不同,如采用潜孔锤方法钻进,配套使用的钻头为硬质合金球齿钻头;采用回转钻进方法,配套使用的钻头为金刚石复合片钻头。根据钻头的切削机理差别,可以选择不同的唇面结构,例如三翼式、内凹式、球面支柱式等。针对煤层钻进,防止钻头与煤层摩擦发热采用的三翼式硬质合金钻头。

在煤系地层中钻进,为了达到保直钻进的目的,在钻具级配的设计上,使用了硬质合金式扶正器,确保了钻具前段满足“刚性、满眼、保直”的钻进要求。目前使用的扶正器有两种,一种是直筋式扶正器,另一种是螺旋式扶正器。

#### 7 风力钻进的排渣机理

在非平衡钻进条件下,不同角度的钻孔,其排渣机理是不相同的,例如仰角钻孔的排渣机理主要是受钻渣重力作用排出钻孔;俯角钻孔,钻渣受重力作用移向孔底,必须借助压力风和螺旋钻杆将钻渣携带排出钻孔;在近水平或小角度孔的钻进中,排渣机理是最复杂的,针对螺旋钻杆从全孔排渣状况看,大致可以分为三段式,第一段是螺旋钻杆前端存在的钻头刻取煤(岩)渣、风力切割塌落的煤(岩)渣、孔壁受震动扰动坍塌的煤(岩)渣等,此复合煤(岩)渣聚集在钻孔前端,形成密度较大的、悬浮松散的满孔充填状态,此时风压受阻最大,阻碍螺旋钻杆回转的扭矩也最大,排渣的拥挤程度最严重。其中满眼溶渣的长度受风压、风量、转速、钻速、孔壁地层情况等的多重影响,另外煤含水量高时,满眼溶渣的密度较大、长度短些,反之则密度较小、长度较长,因此确定合理的钻进参数非常重要。第二段是螺旋钻杆的中段,此段最长,占据钻孔排渣的绝大部分。随着风力和螺旋钻杆复合排渣的稳定,钻渣颗粒受重力和风力合力作用形成的运移分层排出,随着排渣运移逐渐趋于稳定,孔内的螺旋钻杆上的渣量会形成较长的稳定段,在此段保持钻进参数的稳定非常重要,稳

定的钻进参数可以保证孔内排渣连续、稳定、积渣较少,钻进状态良好。第三段是接近孔口处,钻渣逐渐失去前边钻渣的挤兑力,钻渣整体受力开始释压,较大颗粒的钻渣先由钻孔环隙上部冲出,速度快、力量大、飞出的距离远,而大量的混合钻渣在孔口段形成下降的坡度,下降坡度的长度受煤含水程度影响,即煤湿度大时下降坡度短,反之则长些,随之由螺旋钻杆带出,聚集在钻孔周围,堆渣形成的安息角一般较大。

## 8 风力钻进的除尘系统

采用风力钻进松软煤层,作为钻孔孔口除尘装置是一项重要的工作,近两年来对孔口除尘装置的研究和不断更新,已经基本实现了风力干净钻进。煤炭科学研究总院西安研究院研制的无动力风力除尘系统包括:RGL1管路总成,用来连接孔口集尘装置与除尘器。空压机输出的压力风与钻杆通过水便连接,使压力风进入钻杆内径通道,输送到钻头进行风力冷却钻头和返风携排渣。管路总成包括:单向阀、法兰盘、连接管、流量仪等。WDL-20型孔口除尘器,主要包括:集尘器、除尘器,两者之间用瓦斯抽采胶管连接。孔口除尘器利用风力钻进中返出孔口的残余风压为动力,采用惯性、冲击水浴、过滤、文丘里等除尘技术。例如在吉林松树煤矿,采用改进型三级无动力除尘器,实现了钻深约100 m,纯钻进效率达到40 m/h,取得了很好的效果;在淮北祁南煤矿,采用改进型三级无动力除尘器,实现钻深238 m,最高纯钻进效率达到30 m/h;在淮北芦岭煤矿采用三级无动力除尘器,实现钻深102 m,最高纯钻进效率达到20 m/h。

## 9 风力钻进参数应用

在煤矿井下实施的风力钻进工况是,使用短钻杆钻进,换接钻杆、通风、钻进、停风频繁的循环过程,因此钻进过程中风力排渣是间歇性的。风力初速度启动钻渣的能力受到钻孔轨迹、环状间隙、孔内沉渣量的多少、风压、风量大小等因素影响很大,因此在钻进过程中掌控好钻进工艺参数是重要的环节。在大量的瓦斯地质钻进中,影响风压、风量产生突变的状况有以下几种情况:

(1)若孔内出现坍塌,导致钻渣将钻头、钻杆在钻孔不同孔段被埋卡,阻碍了风力的畅通,使风压、风量快速升高,其数值从流量计上可以直观的显示出来,同时也反应到空压机的输出功率增大,发出强

力工作的噪声;钻具回转扭矩增大,压力升高,转速降低,排渣受阻,渣量减少或者停止排渣。

(2)煤系地层中软硬互层结构,受构造影响的各种类型断层,富含瓦斯的松软煤层,尤其是具有喷突性的松软煤层等,钻进中受到钻头扰动和风力切割作用导致的孔壁局部垮落,形成的局部事故,阻碍风压、风量的顺畅流通。根据实时风量、风压的数值变化大小,及时调整钻进参数,将钻进参数控制在正常钻进的参数值范围内,可以有效地避免事故的发生,确保钻进的正常进行。例如在吉林白山松树镇煤矿进行松软煤层钻进中,风压、风量所反映的参数值是,返风速度最小应达到15.2 m/s,最佳风速在23 m/s左右。考虑到钻具、钻孔中风量漏失,采用专门的防爆空压机,单孔供风量在6~10 m<sup>3</sup>/min,钻进效果较好。在钻孔设计时要考虑钻孔参数与风力参数相互匹配的关系,选择合适的相关参数匹配值,能达到良好的钻进效果。

(3)孔壁不完整或受构造等因素影响,导致的孔内漏风。孔内漏风是局部性的,主要发生在孔壁破损严重,构造影响较大,顶板破坏不稳定的部位等。孔内漏风严重影响了返风速度,导致钻渣沉积在钻孔底部,使钻孔环隙减小,钻孔底部抬升,迫使钻孔轨迹发生变化,给钻进工作埋下严重的隐患,也是导致钻孔钻深受到制约的因素。

## 10 风力钻进的事故分析与处理方法

风力钻进中常遇到的事故大致有以下几种类型:其一、钻进中常发生的事故。其二、由松软煤层、风化等条件而形成的富含瓦斯等因素,造成的瓦斯喷突形成的事故。其三、由构造作用造成的事故。其四、起拔钻具时造成的事故。其五、煤层含有一定水分时,造成的钻进困难事故等。

(1)钻进中常遇到的事故。风力钻进孔内系统排渣机理的三段式中,前端融渣的密度、长度是影响钻进效果的最重要阶段。从目前影响钻深的结果来看,往往是前端融渣的密度大、长度长,钻渣相互之间的阻碍、拥挤,导致了螺旋钻杆受力增大,转速减慢,以至最终使钻杆停止回转。解决这些问题,一方面从提高钻机回转转速和扭矩,给进、起拔力等方面着手,另一方面从新钻具和新工艺方面着手。解决钻孔前端融渣问题的方法,在正常钻进中,保持转速在200 r/min左右时,排渣效果较好,若因各种原因导致的转速达不到较高转速时,则应降低钻进速度,减少钻渣量,保持较长时间的风力排渣。在钻进中

若发生回转压力持续增大,转速降低情况,应立即停止钻进,回转着起拔往复松动钻具,疏通孔内聚集的钻渣,待钻进参数恢复至正常钻进参数区间后,再继续钻进。

(2)松软煤层是目前钻进的难点,尤其是富含瓦斯的情况下,由瓦斯局部喷突造成的孔内局部坍塌形成的埋钻事故,具有突然性和危险性,能瞬间将钻具埋住无法回转。处理这类事故时,一是要避免瓦斯喷突形成的伤害事故,二是不能强力回转钻具和强力起拔钻具,严重的搅动孔内富含高压瓦斯的钻渣,会造成瓦斯激荡形成更大的瓦斯喷突,对孔壁的破坏性更为严重。发生这类事故时,首先是要调整钻机工况为低转速、大扭矩,其次是微调钻具的给进与起拔,使钻具能回转起来,因为坍塌钻渣初始密度较小疏松,在大扭矩的条件下,易使钻具回转起来,一般情况下,钻具能回转起来,处理事故成功率就高。

煤(岩)互层或煤层夹矸,一方面结构完整性较差、松软,另一方面碎块却较硬,并且大小不均,螺旋钻杆在携带这些钻渣时,常发生碎块与孔壁的挤压碰撞,使原本不稳定的孔壁受到的破坏更大,导致孔壁发生更多的塌落,使孔内钻渣量增大,排渣难度增加,影响钻孔的深度。目前使用筋条式的宽叶片小螺旋钻杆,增大了钻孔上环隙的空间,有利于风力排出较大的、不规则的碎石块。若发生碎石块的卡钻情况,采取低速回转方式将碎块移除破碎,或者采用插接式的螺旋钻杆,实行正反转的方式,更有利于松动碎石卡钻处理事故。

(3)煤系地层中存在的小型断层较多,其构造破碎带内存在的破碎角砾岩或者其它充填物数量有限,并且大多没有胶结或者是泥质胶结等,当钻具钻至构造破碎带内时,风力切割作用会将充填物吹出,失去支撑作用的角砾岩,在钻具周围形成松散的堆积体,导致钻具起拔受阻,形成事故。这类问题采用正反向一体化的钻头和宽叶片小螺旋钻杆,基本能解决,钻具能正常钻进。在较大型的断层中钻进,可以采用单动双管的方式钻进,用套管将断层带隔开,确保钻进的正常进行;另外也可采用孔内对断层带进行注浆来固结断层破碎带,然后再行钻进。

(4)在非平衡条件下采用风力钻进,由于井下工况的条件制约,孔内滞留的钻渣较多,尤其是钻孔轨迹发生弯曲的状况下,弯曲部位会存留较多的钻渣不能被风力排出,在起拔钻具时,这些滞留的钻渣

会随螺旋钻杆的回拖形成局部聚集,导致钻具回拖受阻。发生这类事故时,不能强行继续回拖钻具。处理方法是先要回转钻具,然后往复活动钻杆,将密实的钻渣松动逐渐排出,若钻渣多时可接风排渣,将孔内钻渣吹干净再继续起拔钻杆。

(5)从试验资料看,煤层中含有少量的水分,可适当的增加煤与螺旋叶片的粘附力,同时在风力的作用下,一部分煤渣仍可随风力作用运移排出,更有利于螺旋钻杆携带钻渣。若煤层中含水较多时,煤的粘附性增大,粘附在螺旋叶片上无法被风力搅动悬浮,造成风力排渣困难,会导致钻渣大量的聚集在孔内,造成钻进困难。遇到这种情况时,在煤层条件允许的条件下,可适当的给孔内补充些水,利用水力冲刷作用协同排渣。补充水的压力流量都要经过实验观察确定合适的压力和流量以及补充水的时间长短。另外,选择中型叶片,既增大了叶片的携渣量,同时还保持了适当大的钻孔空间,均有利于螺旋叶片的携渣能力提高,使钻孔的深度增加,提高松软煤层的钻孔深度,提高钻孔瓦斯抽放效率。在使用中型螺旋叶片时,正常钻进参数区间要掌握好,过快、过慢都不利于螺旋叶片的排渣效率提高。

(6)在松软喷突煤层中钻进,十分忌讳将钻杆在停钻的情况下,滞留在孔内,即使煤层条件相对较好,停钻时也要把钻具提至安全孔段才能停钻。因此,在松软喷突煤层中钻进,在钻孔没有结束时,是不允许停钻的,必许钻进结束后才能停钻。

## 11 结语

针对松软煤层以及松软煤层中富含的瓦斯,目前已经初步形成了钻探技术装备和工艺体系,在解决松软煤层的钻深、孔径、钻孔存留时间和瓦斯有效抽放等问题上有了很大的进展,但存在的问题依然很多,如松软煤层和小构造复合型钻进工艺问题、构造安全穿过问题、瓦斯突出与瓦斯抽放困难问题等,这些问题仍需做大量的科研与试验工作,采用新的工装设备和工艺来解决。

## 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, 刘桂芹. 煤矿瓦斯地质起拔钻探工艺技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, (9).
- [3] 马沈岐, 王力, 李乔乔. 松软喷突型煤矿螺旋钻进工艺发展[J]. 煤矿安全, 2010, (4).