

瓦斯地质钻探工艺研究

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:在论述了瓦斯地质钻探目的和非平衡钻探工艺理论的基础上,总结了瓦斯地质钻探施工工艺及相关技术措施并强调了安全施工要求。

关键词:瓦斯地质;钻探工艺;非平衡钻探;钻进参数;瓦斯突出

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2007)02-0040-05

Study on Gas Geological Drilling Technology/MA Shen-qi (Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an Shanxi 710054, China)

Abstract: Based on the purpose of gas geological drilling and non-equilibrium drilling theory, the paper summed up the gas geological drilling technology and the related technological measures, and emphasized the safety construction.

Key words: gas geology; drilling technology; non-equilibrium drilling; drilling parameter; gas outburst

瓦斯地质钻探工艺是对煤岩层中赋存的瓦斯通过钻孔形式进行抽放的工艺,以尽最大努力减少矿井瓦斯、涌水等灾害对煤矿生产造成的威胁,为煤矿安全生产服务。

1 瓦斯赋存的地质条件及钻探解决的目的

瓦斯赋存的地质条件包括:含煤岩系的沉积环境,岩性组合结构特征,煤层顶底板围岩圈闭特性及煤岩层透气性能,煤的变质程度及埋深,区域地质构造,水文地质条件,岩浆作用等。

瓦斯赋存是渐变过程,而钻探要解决的问题是对聚集条件下的瓦斯库通过钻孔的通道来达到释压抽放瓦斯。瓦斯库存在的条件是:(1)要有一定的地质结构或构造空间和圈闭密封地层条件;(2)要有充足的瓦斯源和运移通道;(3)要有矿山压力对瓦斯聚集区形成矿山压力,压缩瓦斯气体。瓦斯库的存在是地质作用固有的产物,在没有揭露瓦斯库前是处在瓦斯地质体的平衡状态。煤矿生产中瓦斯库的存在对矿井安全造成严重的危害,为了解决瓦斯库的问题,采用瓦斯地质钻探工艺方法揭露瓦斯库,对瓦斯库进行抽放释压,达到煤矿安全生产的目的,这就是利用瓦斯地质钻探工艺来解决瓦斯问题的目的。

2 非平衡钻探工艺的理论基础

在煤矿瓦斯地质钻进中,为了有效地抽放瓦斯,

采用的钻孔设计方式是以沿煤层钻进和邻近层抽放为主的,这就决定了钻进工艺的非平衡性质,所以提出了下述非平衡钻探工艺的理论基础。

(1) 钻具重心落在钻具实投影面积以外,钻具处在非平衡状态。

(2) 在任意角度的钻孔内,不具备或不完全具备形成泥浆液柱的条件,因而,钻孔壁没有泥浆液柱给予的平衡支撑条件,使钻孔内形成一种非平衡的状态。造成地层压力、孔隙力、毛细力等作用在悬空的孔壁上,从而导致钻孔孔壁的稳定性变差。对于煤系地层来说,在瓦斯地质的条件下,孔壁的稳定性就更差。

(3) 随着钻孔角度的改变,钻具重心随之而变,钻具回转产生的切向力与钻具重心形成的合力夹角也随之改变。

3 目前煤矿使用的钻机情况

目前,国内煤矿大量使用的钻机有 3 大类:第一类是立轴式钻机,该类钻机多用于煤矿下临近层穿层孔的钻进;第二类是全液压动力头通孔式钻机,该类钻机多用于煤矿沿煤层钻进、上临近层穿层孔的钻进;第三类是全液压动力头定长式钻机,该类钻机多用于煤矿大仰角穿层孔钻进(或称冲天钻)。

4 瓦斯地质钻孔设计

4.1 所钻地层瓦斯地质条件

收稿日期:2006-09-11; 改回日期:2007-01-03

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,从事煤炭瓦斯地质钻探工艺研究与技术推广工作,陕西省西安市雁塔路 52 号,13008409305, mashenqi168@163.com。

在瓦斯地质钻孔的设计中,瓦斯地质条件的设计包括 2 个方面:(1)一般情况下,矿井瓦斯地质条件是清楚的,主要影响地层构造的断层也是清楚的,因而在瓦斯地质钻孔设计时,要明确说明断层的性质和参数值,并且要说明主要断层以前在钻探中所遇到的问题和处理方法;(2)在遇到第一次钻进瓦斯地质的地层时,要说明在钻进中可能会遇到的瓦斯地质问题,在瓦斯地质条件不明确的情况下,不能贸然实施钻进,要试钻,总结出相应的钻进参数范围,并且要预设多种遇到问题时的处理办法,把钻探事故的发生率降低到最低水平。

4.2 目标层的位置和实钻孔段的柱状图

目标层是指瓦斯地质钻孔要到达的抽放地层位置,包括:顶底板超前预留钻孔,其目的是回采开始时对泄压涌出的瓦斯进行抽放;多煤层开采条件下,在邻近层泄压、瓦斯涌入之前进行的煤岩层顶底板之间的钻孔,其目的是对开采中泄出的大量瓦斯进行抽放;沿煤层钻孔,其目的是抽放煤层中富存的瓦斯等。

选择标志性或确定的实际孔段作出的钻孔柱状图,对所钻进的地层可以做到心中有数,对复杂地层所要采取的相应钻进工艺进行具体调整,做到防范有序,参数选配合理,避免因盲目钻进导致的孔内事故严重恶化。

4.3 钻孔参数设计

钻孔参数设计包括:方位角、倾角、孔径、孔深。

上述钻孔的参数设计是指孔口参数,所反映的也只是开钻时的钻孔设计要求。对于钻孔终孔要达到的靶标位置,目前所采用的传统钻进方法是刚性保直钻进,这与瓦斯地质中瓦斯富存的范围较大有关,因而,相对来说目标层的靶标位置要求也较为宽泛,刚性保直钻进的方法基本能够满足瓦斯地质钻进的需要。

4.4 钻具级配设计

在瓦斯地质钻进中采用的钻具有以下几种方法:(1)采用外平钻杆一径到底,前保直端外加扶正器或专用钻铤;(2)采用螺旋钻杆(包括有动力螺旋钻杆和无动力螺旋钻杆);(3)采用垫叉式钻杆,前保直端外加扶正器或专用钻铤等。

瓦斯地质钻探中,钻具的使用应注意以下几个问题:

(1)在较为复杂的煤系地层中钻进,钻具级配的设计应力求简单,尽可能地减少孔内附属器具的放置,目前多采用一径到底,前端保直端外加扶正器

或专用钻铤的方法钻进;

(2)为满足保直钻进的要求,钻孔环状间隙要求尽量采用下限值;

(3)在使用螺旋钻杆时,螺旋钻杆的直径设计要考虑其排渣特性,例如突出煤岩层钻具设计为(参考): $\varnothing 73$ mm 水便 + $\varnothing 73$ mm 外平钻杆 + $\varnothing 103$ mm 外筋式扶正器(或专用钻铤) + $\varnothing 113$ mm 复合片内凹三翼与扩径防喷组合式钢体钻头(注: $\varnothing 103$ mm 外筋式扶正器安放的位置在 1.5 m 外平钻杆后边;防喷钻头分为前导钻头和扩径钻头,两者之间用 1.5 m 的钻杆连接)。

4.5 钻进工艺参数设计

钻进工艺参数包括钻进参数和泥浆参数。

在实际钻进中,根据钻探工艺的要求,把钻进参数划分为:正常钻进参数区;非正常钻进参数区;极限钻进参数区。根据钻进参数值反应在不同的区域,可以判断和预防钻进中孔内的状况,及时调整钻进工艺参数,孔内发生的事故在多数情况下是有规律可循的,较大规模的突发事件一般情况下较为少见。这里要特别指出的是,钻机所提供的极限参数值只反映钻机的能力,而不能作为工作参数值,也就是说在极限参数值条件下钻机是不能保证正常工作的。

4.6 钻进中遇到的问题和处理方法

由于瓦斯地质存在的复杂性,在钻进中会遇到很多的问题,例如:卡钻、埋钻、缩径、瓦斯突出、钻渣瓦斯水形成的混合柔性体造成的堵钻等。针对不同的孔内事故,必须采取有针对性的方法来处理。不同的矿区瓦斯地质条件存在着很大的差异,因此,在钻孔的设计中,要考虑造成事故的主要原因,采取必要的防护措施和相应的处理手段。例如,在峰峰局某矿遇到断层角砾岩造成的卡钻,采取新设计的正反向一体化钻头处理卡钻事故,取得了良好的效果;在焦作局某矿软煤层钻进中,采用风动力螺旋钻进,也取得了较为理想的钻进深度;在盘江局某矿由于缺乏处理紧急事故的经验和方法,发生埋钻事故,通过分析和总结,提出了一套有效的管理规范等。在长期从事煤矿钻探工作中,会遇到很多不同类型的问题,通过总结和交流达到共同的提高。

4.7 总结报告

瓦斯地质钻孔的设计最终是要落实在实际的钻进中,对在钻进过程中所遇到的各类问题进行认真的总结,可以获得宝贵的第一手资料,通过对经验和事故的分析、总结,对今后的钻进工作能起到很大的

指导作用。

5 瓦斯地质钻探工艺

5.1 钻场地基要求及处理

目前坑道钻机的发展向大扭矩、大给进起拔力方向发展,因而钻机的自重较大,钻机提供的系统参数较高,在钻进工作中提供的能力较强,因此,要求钻场的地基要稳固,不能发生松软、破碎等情况。在钻进大直径、长距离钻孔时,钻场的地基还要作专门处理,确保地基的稳固。

钻场地基一般情况下存在 3 种状况。

第一种是煤岩渣堆积地基,一般采用在煤岩渣上埋设 2 根长方形枕木,将钻机主机架设在枕木上,在机架底座前后的托盘上,用 4 根单体液压支柱顶牢顶板,机架前端用导链拉紧,该方法使用较多,基本满足钻机稳固的要求。若在实际钻进中发生钻机挪位现象,应及时进行修正,保证钻机动力头、夹持器、钻孔在一条直线上。

第二种是破碎底板软岩地基,必须先进行软岩清理,然后铺垫煤岩渣和埋设长方形枕木,安放钻机,若有必要在预知孔内瓦斯地质情况复杂时,还需打地锚压紧钻机主机。

第三种是较完整底板硬岩地基,这种情况下钻机的稳固条件也相对较好和便利,但安装时需要防止钻机受力后打滑造成机身移位。

5.2 钻机稳装要求

稳装钻机是保证较大孔径、中深钻孔实施钻进的首要条件,是确保钻机主机的动力头、夹持器、设计钻孔孔位在整个钻进中保持在同一直线上的基础。在稳装钻机主机液压支架时,要处理好顶板,防止顶板因松动、浮石、破碎等情况,造成落石、垮塌,使钻机稳钻条件失稳,发生事故。同时,钻机支架前后底梁要用方木顶牢或用导链拉紧,机身两侧用扒钉或道钉将钻机主机底座与枕木钉牢。

动力机组应放置在高出水面位置,相对放平即可。操作台安置在便于观察钻场全部情况的位置。对于分体式钻机的总体布局以品字形布局为好。

5.3 开孔及钻进中的要求

在实施沿煤层钻进、邻近层钻进中,整个的钻进过程是加压钻进过程,即给进压力必须克服钻具的重力、钻具与岩层的摩擦阻力、水力因素造成的反作用力,钻头切削岩石的压力等,才能实现钻进。

开孔要求:要轻压、慢转、小水量。为克服钻头切削岩石产生的切向力,可在岩石上凿钻窝或用钎

杆等反向施力克服切向力使钻孔开正。另外,钻机安装的位置不宜离岩层工作面太远,适当的距离可以减小钻杆的摆动和克服一定的切向力。

钻进要求:煤矿井下钻进,由于巷道中的钻场空间所限,采用的都是短钻杆,必然会造成停水、停钻、换接钻杆频繁的操作过程,因此,每一次的停钻、停水势必导致钻头要提离孔底,而孔底的残心、碎屑、复合片钻头切削岩石留下的台肩等,会在复合片钻头重新接触孔底时产生冲击碰撞阻碍作用,如果操作不当便会过早地损坏复合片钻头的切削刃,使钻头的使用寿命大大降低。因此,要求在每一次的换接钻杆后重新开钻时,重复轻压、慢转的操作规程,待钻头和孔底岩石磨合均匀后,方可正常钻进,这一磨合的时间并不长,但次数较为频繁。判断孔底钻头与岩石面是否磨合完整的方法是,根据回转压力表的指针达到小幅均匀摆动即可。

5.4 钻进参数的设计与实钻情况分析

钻进参数值的设计是根据具体地质条件而定的,在划分正常钻进参数区和非正常钻进参数区时,应以主要钻进地层为依据来设计,遇到特殊情况时,钻进参数值的变化就能反映孔内钻进时发生的情况,及时准确判断事故状况,并且及时采取处理措施,避免孔内事故的扩大和处理上的困难。

根据淮北局海孜矿的实验资料,针对所钻地层条件,将钻进参数划分为两个区段。

正常钻进参数区:泵压 2 ~ 15 MPa、钻速 5 ~ 15 m/h、钻压 2 ~ 12 MPa;

非正常钻进参数区:泵压 15 ~ 23 MPa、钻速 1 ~ 5 m/h、钻压 12 ~ 20 MPa。

钻机提供的极限参数值是不适宜连续工作的。钻进参数值的变化,直观地表明孔底钻头在切削岩石时发生的变化,长距离钻孔中孔壁的完整情况,同时也反映出所钻瓦斯地层的结构和构造的变化以及瓦斯突出情况等。对钻进工艺参数值进行有效的控制,可在较大的程度上防止孔内事故的发生和严重恶化。

根据该矿 II 1024 高抽巷石门 1、2 号钻孔钻进班报记录,在钻进施工中参数值变化情况反应如下:首先,在砂岩和泥岩互层的地层结构中,孔内发生过卡钻、漏浆等情况,这时压力表上反应出回转压力值升高,指针摆动幅度增大,例如在 16 ~ 30 m 之间和 48 ~ 80 m 之间孔内均发生卡钻、抱钻、塌孔等情况,回转压力达到 9 MPa,给进压力达到 7 MPa,虽然钻进参数值都在正常范围内,但给进压力的升高和摆

动幅度的增大,说明了在互层结构中,钻进受到了一定程度的影响;其次,在较大孔径、中深钻孔的钻进中,随着钻孔深度的增加,需要钻机提供的回转压力值增大,例如孔深 $< 100\text{ m}$ 时,回转压力值在 $3 \sim 7\text{ MPa}$,给进压力值在 $2 \sim 5\text{ MPa}$,而在孔深 $100 \sim 220\text{ m}$ 段,回转压力值 $9 \sim 13\text{ MPa}$,给进压力值 $4 \sim 7\text{ MPa}$;在孔深 $220 \sim 342\text{ m}$ 段,回转压力值 $13 \sim 20\text{ MPa}$,给进压力值 $3 \sim 5\text{ MPa}$ 。根据 II 1024 综采工作面瓦斯治理设计图,钻孔在 170 m 后有 $4 \sim 6$ 条小型张性断层,从上述钻进参数值的变化结果分析,钻进参数值在互层与小构造带中产生较大幅度摆动,在一定程度上也反映了张性断层对钻进的影响,但总体影响不大。

5.5 钻孔中瓦斯突出的预防措施

根据钻孔设计时提供的瓦斯地质条件,当钻孔接近瓦斯高压积聚区时,通过钻孔内瓦斯突出产生的不同鸣爆声,判断瓦斯突出压力和携带钻渣量,提前作好防护措施。临时的防护措施有:钻场安全角躲避、巷道拐弯躲避、动力机组后边躲避等。若遇到有较大瓦斯突出记录的地层时,应在钻具级配上选取防突钻头或新型的钻具级配形式,作为孔内的防突措施,同时,要做好人员撤离钻场的准备,一旦发生孔内突出事故,应及时撤离现场人员。

高抽巷钻孔为超前预留钻孔时,先期钻进中并无瓦斯溢出,但作为预防措施是必要的。

5.6 钻进中事故的处理

在瓦斯地质钻探中常发生的孔内事故有卡钻、埋钻等。事故的发生一般是一个逐渐演变的过程。当事故发生时,钻进参数值的变化是最直接的判断手段,同时,钻探人员的经验也是非常重要的。根据设计的正常钻进参数值钻进时,若发生由正常钻进参数值区向非正常钻进参数值区变化,应首先判定孔内出现了事故隐患,此时应停止钻进,或减慢钻进速度,判断孔内发生事故的原因,进行处理后再恢复正常钻进。若在不能确定孔内所发生事故的情况时,首先应保证钻机回转,并且将钻具提离孔底到安全孔段,然后再行处理。

造成卡钻的原因有岩层软硬变化、孔壁上部掉块、张性断层角砾岩、冒落带、采空区回填物等,不同的卡钻原因,其钻进参数的变化不同,因此应根据具体的情况决定具体的处理方法。例如:岩层软硬变化造成的卡钻,岩层变化的结构面都具有一定的风化层,在水力切割因素的影响下,风化层会形成较大的空洞,导致软硬岩之间形成台肩,台肩会导致钻孔

改变方向,同时,对钻具上所加的扶正器很容易造成卡钻,软岩越厚造成卡钻的几率越大。因此,在复杂的地层中钻进,钻具的结构应越简单越好。掉块造成的卡钻,卡钻部位一般在钻孔与钻杆之间、扶正器与钻孔之间,导致钻进参数的变化是扭矩增大,但指针的摆动频率相对较小,经过研磨排出掉块可继续钻进。角砾岩造成的卡钻,卡钻的部位在钻头与角砾岩之间,进入角砾岩的瞬间,回转压力即发生大幅的摆动,泥浆漏失,孔口排出断层充填物,如泥、沙等,发生这种情况应立即停钻,可考虑在断层带下套管或更换新型钻具系统。若要强行通过小断层带时,在有经验的情况下迅速通过,同时还要保证能安全撤回钻具。冒落带发生的卡钻,卡钻的部位在钻头与冒落带之间,泥浆几乎全部漏失,钻头基本上不是在切削岩石,而是在挤拨冒落带充填物,几乎形不成完整的钻孔,在冒落带里下套管挤压钻具的力量要适当。

根据孔内发生埋钻的机理分析,埋钻一般有 3 种情况:前置式坍塌造成的埋钻;后置式坍塌造成的埋钻;联合式坍塌造成的埋钻等。不同的坍塌形式,具有不同的因果关系,具体判断和解决方法如下。

(1)前置式坍塌形成的埋钻:在软煤、岩层中钻进,其水力切割因素较大,在水力切割作用下,钻头前方的软煤、岩层会发生坍塌,形成较大的冒落空间,坍塌物会造成埋钻。这种埋钻发生时一般回转扭矩升高,给进压力降低,孔口发生短时间的断水,随之会有大量的坍塌物排出,坍塌物具有棱角。处理方法是首先要停止继续钻进,调整泥浆泵的参数,即调低泵压,增大泵量,使孔内的坍塌物排干净,然后再钻进。

(2)后置式坍塌形成的埋钻:在沿煤层钻进中,煤层的完整性是决定钻孔成孔的重要特性,在钻孔中部相对不稳定的煤层中,钻孔壁上部的煤层,在承受钻具公转因素的影响下,在回转携带起的泥浆液冲撞下,煤层受湿重力的作用发生坍塌,造成埋钻。这种埋钻发生时一般回转扭矩增大,给进压力不变,孔口断水,泥浆泵压力滞后升高。处理方法是要保持钻具在大扭矩条件下回转,同时停钻,停水,在逐渐活动钻具中,让孔内带压水通过坍塌上部空隙逐渐排出,然后断续供水,直至冲开坍塌物,将其排干净,然后再行钻进。在煤层中用水钻进,其水压不求太高,供水量也要适中。

(3)联合式坍塌形成的埋钻:在煤、岩层中钻进,孔内同时发生上述 2 种形式的坍塌,造成埋钻。

联合式坍塌是一种孔内较大事故,因此在处理事故的过程中难度也较大。判断方法是:在较多次的发生前置式坍塌的基础上,孔壁上部的稳定性已经相对较差,继续的振动冲击将可能发生较大范围的坍塌。事故的发生会导致回转压力急剧升高,有时甚至使钻具回转不动,泥浆泵压力快速升高,发生憋泵现象。处理方法是必须紧急停钻、停水,同时,调大泵量、调低马达转速进行大扭矩松动,直至能够回转。在条件允许的情况下,将钻头提离孔底,给活动钻具留有足够的空间。

在预计有重大隐患事故发生的地层中钻进,最好的方法是改变钻探工艺方法,避免重大事故的发生。

5.7 影响钻孔轨迹的因素和解决措施

在瓦斯地质钻探中,影响钻孔轨迹发生变化的因素有 3 大类:一是瓦斯地质条件;二是排渣介质;三是瓦斯地质钻探工艺。

控制钻孔轨迹的变化,必须从综合因素上来考虑。例如,在钻进较大直径、中长距离钻孔中,影响钻孔施工的因素有:保直刚性钻具级配选择的合理性、泥浆泵量、泵压选择或风压、风量的选择、中长距离钻孔排渣要求保证的时间、操作工艺正确掌握等。

6 排渣介质

煤矿瓦斯地质钻进中采用的排渣介质为水力排渣和风力排渣 2 种。在非平衡钻探工艺中,采用外平钻具。水力排渣机理是:钻渣和水受重力影响沉在钻孔环状间隙下部,借助水力流动动力携带出钻头切削下来的钻渣,钻渣和水在孔内分布状况是集中在钻孔环状间隙断面的下部。风力排渣机理是:钻渣受重力影响沉积在钻孔环状间隙下部,压力风将钻渣悬浮在钻孔中,向孔口低压方向排出,钻渣在

孔内的分布状况是全断面环状间隙排渣,受钻渣重力的作用和风压、风量大小的影响,约有 2/3 的钻渣在钻孔环状间隙的下部,1/3 的钻渣在钻孔环状间隙的上部。采用螺旋钻时,依靠螺旋钻具自升力和风压动力的共同作用排渣,大部分钻渣沉在螺旋钻具的中下部,由螺旋钻具带出,而风压则能搅动钻渣,使一定数量的钻渣浮动,减轻螺旋钻具带渣的阻力,更利于排渣。

7 安全要求

瓦斯地质钻探工艺的实施中的安全工作是一个系统,这个系统包括:钻场人员安全的要求、设备安全的要求、瓦斯地质钻探工艺安全的要求、钻场环境安全的要求等。建立健全和实施这一系统是确保矿井钻进中的安全的必要条件。《煤矿安全规程》对钻探工作的系统作了相关的规定,在实施规程的过程中,还应就具体的实施条件做出细节的规定。例如,钻场人员的配合问题、瓦斯突出时的安全防护和躲避问题、煤层顶板的稳定性问题、设备安全问题、钻场环境的布设问题、瓦斯地质钻探工艺中的问题等等。

8 结语

瓦斯地质钻探工艺是一门新兴的边缘学科,由于煤矿系统本身没有专业的钻探技术人员,学校也没有培养这方面的专业人员,导致了煤矿在大规模地进行瓦斯地质钻探工作的同时,基础理论研究滞后,工艺系统配套不规范,在以经验为主的钻进摸索过程中,矿井瓦斯地质钻探工作的水平提高很慢,也使得瓦斯突出治理工作受到制约。笔者总结多年从事煤矿钻探工作的实践经验,希望能对煤矿瓦斯地质钻探工艺的研究和提高起到帮助作用。

(上接第 32 页)

坑工程的开挖支护,采用土钉支护结合井点降水的方法,往往可以收到“事半功倍”的效果,不但可以确保基坑安全施工、降低围护造价,而且施工方便快捷,大大缩短了工期。

参考文献:

- [1] 陈肇元,崔京浩.土钉支护在基坑工程中的应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [2] 曾宪明,黄久松,等.土钉支护设计与施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [3] 陈忠汉,黄书秩.深基坑工程[M].北京:机械工业出版社,2002.