

高能射流式液动锤在赵固一矿井 下穿层注浆钻孔中的应用

张鹏飞¹, 葛东¹, 程靖清¹, 杨冬冬², 王四一², 彭视明¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 井下定向钻进是实现煤矿瓦斯高效抽采和防治底板突水的重要途径, 多采用回转钻进的方法, 钻遇硬岩地层时, 钻进效率低、钻孔周期长、成本高, 严重影响了井下瓦斯抽放钻孔等的工程进度及成孔质量。赵固一矿井下灰岩地层钻进试验结果表明, 使用 SC86H 型高能射流式液动锤实施冲击回转钻进, 通过合理控制泵压、转速和钻压, 钻进效率较常规 PDC 钻头回转钻进提高了 3 倍, 节约了钻进成本。

关键词: 高能射流式液动潜孔锤; 煤矿井下钻进; 灰岩地层; 钻进效率

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)05-0004-04

Application of High Energy Liquid-jet Hydraulic Hammer in Layer-crossing Grouting Drilling Zhaogu Mine - 1 Underground/ZHANG Peng-fei¹, GE Dong¹, CHENG Jing-qing¹, YANG Dong-dong², WANG Si-yi², PENG Jian-ming¹ (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Directional drilling under coal mine is an important technology to realize efficient gas extraction and prevent flood water inrush. The method of rotary drilling is mostly adopts. In hard rocks, low drilling efficiency, long drilling cycle and high construction cost seriously affect the project progress and quality of gas extraction drilling. The drilling test results of the limestone strata of Zhaogu mine - 1 show that with reasonable control of pump pressure, rotary speed and weight on bit, the efficiency of impact rotary drilling by SC86H high energy liquid-jet hydraulic hammer is increased by 3 times than that of conventional PDC rotary drilling, and the drilling cost is saved.

Key words: high energy liquid-jet hydraulic hammer; drilling in coal mine underground; limestone strata; drilling efficiency

0 引言

目前国内瓦斯抽采孔和煤层底板注浆孔钻进多采用回转钻进方式施工, 该方式在质地较硬的灰岩地层中常常因为钻进效率低、钻孔容易倾斜导致钻孔周期长、钻进成本高等问题。坚硬且脆性大的岩石耐冲击抗剪切强度都较低。在这种情况下, 采用液动潜孔锤实施冲击回转钻进成为了解决这一难题的关键。然而气动潜孔锤产生的冲击火花在煤层气环境下极易发生危险, 且气动潜孔锤在狭小空间的煤层矿井钻进因粉尘污染的环保要求难以推广。

液动潜孔锤钻进效率高, 脆性的体积破碎使其在钻进硬岩地层时有明显优势并且随着岩石硬度与

脆性的增加, 效率提高得越为明显。以冲击碎岩为主回转破碎为辅的工艺, 所需要的回转速度小、小钻压, 低转速不仅使钻进过程中不易发生孔斜, 而且有效减少了卡钻, 烧钻等孔内事故, 提高了钻进效率, 降低了钻进成本。但是常规压力(压力降 <6 MPa)的液动潜孔锤存在冲锤冲击末速度不高、单次冲击能较低无法实现对岩石的体积破碎。SC86H 型高压高能液动潜孔锤能够在 14 MPa 甚至更高的压降下工作, 从而获得高于常规液动潜孔锤数倍的冲击末速度和单次冲击功。

吉林大学在 2015 年首次使用 SC86H 型高能射流式液动潜孔锤进行花岗岩岩样的钻进试验, 岩样

收稿日期: 2017-12-25; 修回日期: 2018-05-03

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项项目“干热岩快速钻井用高压高能射流式液动锤研究”(编号: 201311112)

作者简介: 张鹏飞, 男, 汉族, 1992 年生, 吉林大学在读硕士研究生, 地质工程专业, 主要研究方向为多工艺冲击回转钻进技术, zhangpf16@mails.jlu.edu.cn。

通信作者: 彭视明, 男, 汉族, 1975 年生, 教授, 博士生导师, 地质工程专业, 博士, 主要从事多工艺冲击回转钻进技术研究和地质工程教学工作, 吉林省长春市西民主大街 938 号, pengjm@jlu.edu.cn。

岩石的可钻性等级达 10 级,单轴抗压强度为 129 MPa,液动锤的机械钻速达 5.19 m/h,与常规回转钻进相比钻速提高数倍。此次将高能射流式液动潜孔锤在煤矿井下试验属国内首次,高能液动潜孔锤与 2015 年相比增加了回程缓冲结构并且缸体内部结构与冲锤形状等结构也得到了优化。试验由吉林大学与中煤科工集团西安研究院合作,在河南焦作焦煤集团赵固一矿煤矿现场进行。

1 试验地层概况

赵固一矿煤层产生于石炭、二叠纪,松散层平均厚度约为 600 m,煤层厚度 3.64~6.58 m,煤层平均厚度约为 5.3 m,煤层倾角 2°~7°,位于含水丰富的奥灰含水层和太原群灰岩含水层之上,底板灰岩突水事故时有发生,严重威胁煤矿的安全开采,因此必须进行钻孔注浆止水。

灰岩层岩石质地坚硬,饱和单轴抗压强度从 97 MPa 到 195 MPa 不等,使用常规回转钻进机械钻速低,穿层注浆止水钻孔的成孔效率受到了严重的制约。地层结构图如表 1 所示。

表 1 地层结构图

| 系 | 最小-最大 平均厚度/m | 岩层 名称 | 距煤层距离最小-最大 平均厚度/m |
|-------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 第三、四系 | 420.1~849.7 606.5 | 松散层 | 0~172.5 88.2 |
| | | 大占砂岩 | 0~14.6 3.8 |
| 二叠系 | 1.02~19.56 8.5 | 煤层 | 3.73~6.77 6.02 |
| | | L ₉ 灰岩 | 0~10.2 8.2 |
| 石炭系 | 0.7~2.1 1.4 | L ₈ 灰岩 | 8.0~10.0 8.3 |
| | | L ₇ 灰岩 | 15.1~42.3 26.1 |
| | | L ₂ 灰岩 | 10.5~14.3 12.0 |
| 奥陶系 | 400.5~450.6 425.6 | 奥灰岩 | 90.2~110.3 103.4 |

由陕西罗克岩土工程检测有限公司进行的饱和单轴抗压测试结果如表 2 所示,可以看出赵固一矿灰岩抗压强度较高,在实际钻进灰岩层时,使用 PDC 回转钻进工艺,钻进效率低。

表 2 赵固一矿底板灰岩饱和单轴抗压强度

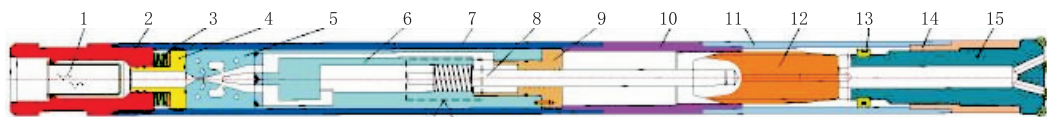
| 岩样编号 | 取样孔位 | 取样深度/m | 饱和单轴抗压强度/MPa |
|------|---------|-------------|--------------|
| 1 | 5 检 1 孔 | 63.00~64.00 | 97.5 |
| 2 | 5 检 1 孔 | 64.00~66.00 | 106.9 |
| 3 | 5 检 1 孔 | 64.00~66.00 | 110.2 |
| 4 | 2 检 1 孔 | 61.00~66.00 | 193.3 |
| 5 | 2 检 1 孔 | 61.00~66.00 | 195.3 |

2 高压高能液动锤选型以及试验设备配套

2.1 高压高能射流式液动潜孔锤

水平钻进用 SC86H 型高压射流式液动潜孔锤依靠射流元件控制冲锤与回程的转换,与传统阀式液动潜孔锤相比,没有弹簧等易损部件,冲锤回程阶段,不再受到回程弹簧的抵消力,并且来自上腔的高压推力始终作用在活塞使得冲锤获得最高可达 8 m/s 的冲击末速度与较大冲击能。其主要技术参数为:适用钻孔直径 95~115 mm,液动潜孔锤外径 86 mm,液动潜孔锤长度 1350 mm,输入流量 180~220 L/min,压力降 9~14 MPa,活塞行程 50~110 mm,冲击功 100~256 J,冲击频率 8~14 Hz。

高压高能射流式液动潜孔锤的结构组成如图 1 所示。其工作原理:高压水进入射流元件产生附壁作用而偏向一侧流道,如先附壁于左侧,高压射流就会通过射流元件进入缸体的上腔,在上下腔压差作用下,使得活塞杆向下运动,从而带动冲锤向下冲击。在冲击到砧子时,会产生瞬时水击作用,水击信号使得射流元件内水射流发生流道切换,从而使得高压水进入下腔,在压力差的作用下使得活塞杆上行,带动冲锤回程运动,当活塞杆到达上顶点又会产生水击信号使得射流切换流道,活塞杆往复运动带动冲锤高频往复冲击。



1—滤杯;2—上接头;3—碟形弹簧;4—密封盖;5—射流元件;6—缸体;7—外缸;8—活塞;9—下缸盖;10—中接头;11—外管;12—冲锤;13—半圆卡;14—花键套;15—球齿钻头

图 1 高压高能射流式液动潜孔锤结构示意图

与传统射流式液动锤相比,SC86H型高能液动锤的射流元件采用信号道侧置式两体式结构,提高了射流元件的密封性能与射流切换的稳定性,并且硬质合金射流元件更加耐冲蚀耐高速射流;常规射流冲击器进入下腔的流体通路是由缸体和冲击器外管配合并采用橡胶密封圈密封的结构,密封圈在高压高速流体冲刷下极易损坏,SC86H型高压高能液动锤通过缸体上直接加工出液流上下腔通道及台阶来替代原有结构,保证密封的同时还能避免高压高速射流冲蚀密封圈致密封失效的风险;同时上接头的蝶形弹簧设计通过周期性形变也保证了整体密封增加了射流冲击器工作的连续性与稳定性。除此之外,对冲锤、活塞杆与衬套等结构的优化也都保证了高能射流式液动锤的耐高压性能。高压保证了冲锤更高的冲击末速度从而获得更大的冲击能,配合球齿钻头从而使液动锤达到更好的体积破碎效果。

2.2 钻机

煤矿井下空间狭小,所以选用钻机应具备结构合理,技术性能先进、工艺适应性强、操作省力、安全可靠、解体性好、搬迁方便等优点。中煤科工集团西安研究院研发的ZDY3200S(MKD-5S)型钻机是一种低转速、大扭矩、能够钻进大口径孔的全液压坑道钻机。高压液动潜孔锤与钻机等设备连接如图2所示。其主要技术参数:额定转矩 3200 N·m,额定转速 220 r/min,钻杆直径 73 mm,主轴通孔直径 75 mm。主轴倾角 $0 \sim \pm 90^\circ$,最大给进力 112 kN,给进速度 $0 \sim \pm 90$ mm/s,最大起拔力 77 kN,起拔速度 $0 \sim 0.32$ m/s,适用钻孔深度 $0 \sim 350$ m,终孔直径 $150 \sim 200$ mm,主机外形尺寸(长×宽×高) $2300 \text{ mm} \times 1100 \text{ mm} \times 1560 \text{ mm}$,钻机质量 2040 kg。

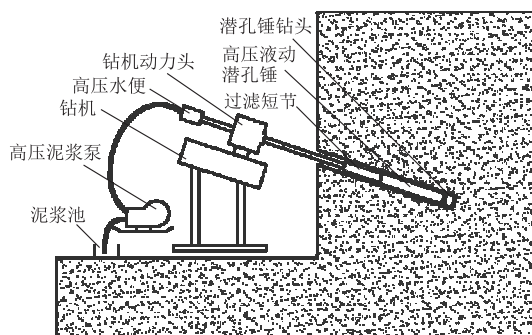


图2 试验设备与装置连接示意图

2.3 高压泥浆泵

液动潜孔锤所需压力降 14 MPa,考虑钻杆和管路等压力降,留足余量,流量 250 L/min 左右(液动潜孔锤工作流量 180~240 L/min,实验室台架和地面钻进试验时,220 L/min 对应的压力降为 14 MPa)。流量过低,硬岩钻进效率低,流量过高,压力降和冲击功过大,可能破坏钻头。配合变频调速电机驱动,泵量调节方便。本次试验使用的是 BRW-400 型高压泥浆泵,其主要性能参数如表 3 所示。

表3 BRW-400型高压泥浆泵主要技术参数

| | |
|-----------------------------|--------------------|
| 进水压力 | 常压 |
| 公称压力/MPa | 31.5 |
| 公称流量/(L·min ⁻¹) | 400 |
| 曲轴转速/(r·min ⁻¹) | 650 |
| 柱塞直径/mm | 45 |
| 柱塞行程/mm | 84 |
| 柱塞数目/个 | 5 |
| 电机功率/kW | 250 |
| 外型尺寸(长×宽×高)/mm | 3380×1235×1360 |
| 总质量/kg | 4500 |
| 工作液 | 含 3%~5% 乳化油的中性水混合液 |

3 工程试验与分析

3.1 试验地点和钻孔参数

试验地点选择在赵固一矿 16021 工作面上顺槽外 5 号钻场外 5-9 钻孔,18011 工作面下顺槽内 9 号钻场内 9-8 钻孔,18011 工作面下顺槽内 9 号钻场内 9-10 钻孔,共 3 个钻孔。试验钻孔的参数如表 4 所示。

表4 试验钻孔的参数

| 钻孔代号 | 方位角/ (°) | 倾角/ (°) | 孔深/ m | 一级套管/(mm ×m) | 二级套管/(mm ×m) |
|-------------------|-------------|------------|----------|-----------------|-----------------|
| 16021 工作面 5-9 钻孔 | 145 | -43 | 153 | 127×22 | 108×34 |
| 18011 工作面 9-8 钻孔 | 26 | -24 | 190 | 127×26 | 108×42 |
| 18011 工作面 9-10 钻孔 | 61 | -19 | 208 | 127×33 | 108×54 |

3.2 入孔前的孔口动作试验

在 16021 工作面 5-9 试验钻孔注浆固孔 24 h 后未进行扫孔。考虑到水泥的硬度较低,不利于发挥液动潜孔锤的碎岩效果,为了完成液动潜孔锤的孔口试验工作,将若干粒径 30 mm 左右的砾石投放孔中达到一定厚度,将液动潜孔锤、过滤钻杆、高压水便等连接好,开泵使液动潜孔锤工作,砾石很快被敲碎并上返至孔口,上返岩屑如图 3 所示,以 10 mm 左右的粒径为主。表明液动潜孔锤在井下以



图 3 液动潜孔锤孔口动作试验时破碎的砾石岩屑



图 4 SC86H 型高能射流式液动潜孔锤钻进产生的灰岩岩屑

体积破碎为主,液动潜孔锤工作正常,冲击功较大,后面添加的砾石瞬间敲碎,直至打到孔内水泥停钻。

3.3 钻进试验

现场钻杆已使用很长时间,磨损较严重,连接后试验时当压力达 6 MPa 时即严重泄漏。在 18011 工作面 9-8 孔试验准备了麻线缠绕钻杆丝扣,确保每连接一根钻杆密封良好,下钻杆时每根都进行试压,确保不漏,孔深 50 m 左右,考虑到软岩层距离灰岩层之间岩层的层距较短且质地较软,尝试用液动潜孔锤打软岩层,能够正常钻进,后来钻速突然加快,说明液动潜孔锤已经穿过软岩层钻到灰岩层。

在 18011 工作面 9-10 试验钻孔钻进达到灰岩层,继续液动潜孔锤钻进试验。泵压 15 MPa,转速 45 r/min,给进压力 2 MPa,产生明显进尺。而后逐渐调节钻进参数,泵压 16 MPa,转速 55 r/min,给进压力 3 MPa,此钻进参数下机械钻速达到 7.6 m/h;泵压 17 MPa,转速 55 r/min,给进压力 3 MPa,在此钻进参数下钻速达到 9.4 m/h;使用非取心回转钻进工艺钻进此灰岩层的钻速为 2~3 m/h,转速为 160 r/min。高能射流式液动潜孔锤是常规回转钻进速度的 2.5~3 倍。然后继续给进,控制转速 55 r/min,给进压力表 3 MPa,在此钻进参数下钻速可以稳定达到 9.0 m/h。上返岩屑如图 4 所示,岩屑粒径大约 5 mm,明显可以看出碎岩的方式是球齿的冲击剪崩大体积破碎,并且粒径大小差异不大,说明不存在重复破碎,这是由于高压高能液动潜孔锤能够适用高泵压,高泵压提供了较高的孔内水流速度,可以有效地将岩屑携至孔口,这也是高压高能液动潜孔锤能够高效钻进的原因。

3.4 试验分析

(1)SC86H 型高压高能液动潜孔锤在质地较硬的灰岩层钻速可稳定达到 9 m/s,是回转钻进速度的 3 倍左右。能有这样的效果一方面表明射流式高能液动潜孔锤对于硬岩冲击钻进达到了剪崩体积破碎的水平,对于硬岩来说,体积破碎比研磨破碎效率更高,另一方面液动潜孔锤的冲锤会产生巨大的冲击力,避免了回转钻进因为给进压力不足产生的无法进行正常钻进的问题。

(2)考虑到整套钻杆设备会在连接处有 1 MPa 左右的水压力的泄露,SC-86H 型高压高能液动潜孔锤能够在 15 MPa 左右的压力降下正常工作并且转速与孔底压力对钻进效率有重要的影响,当转速为 55 r/min,孔底压力为 6.5 kN 时,钻速达到最大。

(3)岩屑粒径大小比较一致,是由于高压高能液动潜孔锤能够在高泵压条件下稳定工作,在高速水循环下被破碎的岩石能够及时随着钻井液排出孔外,破碎岩石过程中几乎没有重复破碎,这对钻速的提升有着积极的影响。

4 结语

本次试验表明 SC86H 型高压高能液动潜孔锤在煤矿井下定向钻进中能较好地克服严苛的井下条件,并且对质地较硬的灰岩层能进行高效率钻进,其使用的 ZDY3200S(MKD-5S)型钻机、BRW-400 型高压泥浆泵和 SC86H 型高压高能液动潜孔锤有良好的配合性。

(下转第 17 页)