

# 大直径集束潜孔锤正循环快速扩孔钻进技术试验

高启瑜, 曹主军, 张 强, 王继承, 周 光  
(神华宁夏煤业集团能源公司环境安全分公司, 宁夏 银川 753000)

**摘要:**空气潜孔锤钻进是基岩尤其是坚硬岩石地区施工首选的一种高效钻进技术。但目前国内直径大于 660 mm 的空气潜孔锤一次性扩孔钻进的不多,特别是  $\varnothing 660$  mm 的集束潜孔锤正循环一次性扩孔排渣钻进更是屈指可数。在金能 2 号瓦斯抽放立井的钻进试验证明, $\varnothing 660$  mm 集束潜孔锤扩孔能够实现正循环一次性扩孔排渣钻进,并具有扩孔速度快、钻进效率高、施工周期短、适应性强等优点。在较坚硬的岩石地层平均钻进速度 6.36 m/h,最高钻进速度 9 m/h,比正循环牙轮钻头钻进速度高 10 倍。对矿井发生灾害事故时,可在最短时间内进行被困人员施救提供了行之有效的方法,同时,也可解决缺水地区或严重漏失地层钻进技术难题。

**关键词:**大直径集束潜孔锤;正循环排渣;扩孔钻进

**中图分类号:**P634   **文献标识码:**B   **文章编号:**1672-7428(2015)09-0038-04

**Tests of Normal Circulation Rapid Reaming Technology by Large Diameter Cluster DTH Hammer/GAO Qi-yu, CAO Zhu-jun, ZHANG Qiang, WANG Ji-cheng, ZHOU Guang** (Environment and Safety Engineering Branch, Energy Engineering Corporation, Shenhua Ningxia Coal Group, Yinchuan Ningxia 753000, China)

**Abstract:** As its high construction efficiency in the bedrock, especially in the hard rock area, DTH drilling is the preferred technology. But in China, one-time reaming by DTH hammer with diameter of more than 660mm is not many, and one-time reaming and slag discharging by normal circulation cluster DTH hammer with diameter of 660mm is even fewer. The drilling test in Jinneng 2# gas drainage hole proves that reaming by use of  $\varnothing 660$ mm cluster DTH hammer, one-time reaming and slag discharging with normal circulation can be realized, and there are also the advantages of rapid reaming, high drilling efficiency, short construction period and strong adaptability. The average drilling speed is 6.36m/h in hard rock formation and the highest is up to 9m/h, which is 10 times higher than normal circulation roller bit drilling. By this technology, the trapped personnel in mine disaster can be rescued in the shortest time, and drilling technical difficulties can be solved in water deficit area and serious loss zone.

**Key words:** large diameter cluster DTH hammer; normal circulation slag discharging; reaming drilling

## 0 引言

随着煤炭行业的快速发展,矿井建设所需大直径钻孔也越来越多,而大直径集束潜孔锤钻井技术是实现快速透巷、快速施救、快速钻井最有效的途径。国外采用此种技术在矿井事故救援中已发挥了重要作用(如美国宾夕法尼亚州-煤矿发生特大突水事故、智利金矿矿井发生了坍塌事故等)。

国内目前进行大直径钻探施工,普遍采用常规的钻进方法,即泥浆正循环牙轮钻头钻进。存在的主要问题是:牙轮钻头钻进受地层影响大,且成井周期长,不利于抢险救援。为了解决这一问题,优化钻具配套机具和钻进工艺,我们选用了大直径集束潜孔锤正循环扩孔钻进技术,并通过了神华宁煤集团立项申请。于 2014 年 7 月结合金能 2 号瓦斯抽放

立井进行现场钻进试验,试验结果表明:大直径集束潜孔锤采用正循环方法可以实现快速扩孔钻进,并具有显著的成效。

## 1 试验区地质与地层

### 1.1 地形与地貌

金能煤业公司井田位于宁夏回族自治区东北端的惠农区境内,西依贺兰山,东滨黄河,北与内蒙古自治区接壤,矿区位于贺兰山与黄河之间的山前冲洪积区,地势西高东低,约为 15%的坡度,地面标高在 +1091 ~ 1143 m 之间,为冲积、洪积扇堆积平原。矿区西南部被第四系现代堆积物所覆盖,东北部有基岩裸露。隶属华北石炭二迭系聚煤区,桌子山—贺兰山煤田,地层由老至新:(1)石炭系晚石炭统土

收稿日期:2014-12-17; 修回日期:2015-06-29

作者简介:高启瑜,男,汉族,1967年生,副总工程师,工程师,钻井工程专业,从事钻探(钻井)技术管理工作,宁夏银川市西夏区朔方路 138 号, gaoqiyu@nxmy.com。

坡组;(2)石炭系晚石炭统太原组;(3)二叠系早二叠统山西组;(4)二叠系晚二叠统石盒子组;(5)二叠系晚二叠统孙家沟组;(6)古近系;(7)第四系。太原组下伏地层晚石炭系土坡组出露于毗邻的内蒙雀儿沟一带。煤系地层为石炭系的海陆交互相沉积及二叠系的陆相沉积。其中晚石炭系太原组和早二叠统山西组为主要含煤地层。

## 1.2 地层与水文地质情况

地层由老至新:(1)石炭系晚石炭统土坡组;(2)石炭系晚石炭统太原组;(3)二叠系早二叠统山西组;(4)二叠系晚二叠统石盒子组;(5)二叠系晚二叠统孙家沟组;(6)古近系;(7)第四系。太原组下伏地层晚石炭统土坡组出露于毗邻的内蒙雀儿沟一带。

根据一、二分区以往井下排水疏干情况来看,基岩正常涌水量几乎都集中出现在巷道施工中,采煤工作面上少,仅有个别滴水。因此基岩正常涌水量则以巷道为对象计算。其涌水量采用值为:一分区V含水层组 $Q_v = 299.63 \text{ m}^3/\text{h}$ ,VI含水层组 $Q_{v1} = 403.57 \text{ m}^3/\text{h}$ ,即 $\sum Q = 703.20 \text{ m}^3/\text{h}$ ;二分区 $Q_v = 313.38 \text{ m}^3/\text{h}$ , $Q_{v1} = 336.82 \text{ m}^3/\text{h}$ ,即 $\sum Q = 650.20 \text{ m}^3/\text{h}$ ,一、二分区+400 m水平以上总涌水量 $1353.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。本矿井水文地质类型为极复杂类型。

## 2 钻井技术方案

### 2.1 钻井设备机具

投入本项目的机械设备、钻具等详见表1。

表1 钻井机械设备、钻具一览

名称	型号	负荷	数量	备注
钻机	SS-185k	80 t	1 辆	进口
空压机	32.6/38.2 m <sup>3</sup> /min, 3.2/2.41 MPa	寿力 1150HH/1350XH	429 kW	10 台
Ø178 mm 钻杆	通径 158 mm		55 根	
Ø660 mm 集束式空气潜孔锤	工作气压 0.8~2.1 MPa, 耗风量 60~110 m <sup>3</sup> /min		1 具	扩孔式
气盒子	通井 158 mm		1 个	
旁通阀	气孔 8 个, Ø28 mm		1 个	
流量控制阀	Ø158.8 mm		1 个	

### 2.2 试验钻井设计

本次试验钻井是结合金能煤业公司2号瓦斯抽放立井钻井工程,设计钻井终井直径800 mm,井深514.87 m,其中选0~200 m为Ø660 mm的集束潜孔锤正循环扩孔试验段。由于本次试验在国内属首例,没有参考的文献和数据,为保证试验安全顺利地

进行,首选Ø450 mm集束式潜孔锤钻进0~100 m,来检验设备安全性能并收集钻进参数,为下一步Ø660 mm集束式潜孔锤试验积累一些经验。试验钻井的井身结构为:

一开设计井径900 mm,钻至10 m下入Ø854 mm×10.5 m管;

二开井径660 mm(首先0~100 m为Ø450 mm,然后0~200 m为Ø660 mm)。

实际井身结构如图1所示。

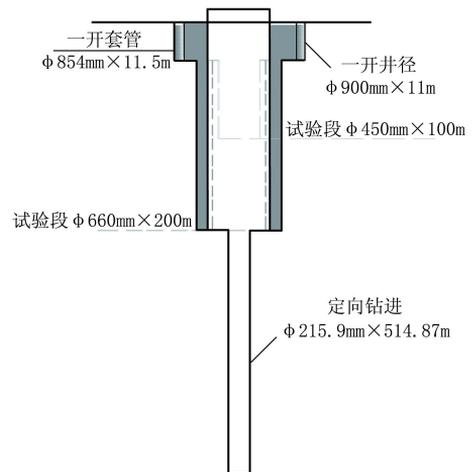


图1 实际井身结构示意图

### 2.3 试验钻井工艺方法

(1)采用Ø215.9 mm PDC 钻头泥浆正循环定向施工至设计层位(514.87 m)作为大井径试验钻进的导孔;

(2)采用Ø450 mm集束式扩孔空气潜孔锤钻头,正循环扩孔0~100 m;然后采用Ø660 mm集束式扩孔空气潜孔锤钻头,正循环扩孔0~200 m。

## 3 项目试验情况

### 3.1 Ø450 mm 集束式潜孔锤试验情况

首先在井口进行潜孔锤启动调试(如图2所示),调试正常后,下钻开始扩孔钻进。当钻进至27.3 m时,井内出现潮湿状况,对井内岩屑上返不利,鉴于这种情况,随之将空压机由2台增加至5台并向井内边注水边钻进,使得返渣正常。当扩孔钻进至39.59 m时,潜孔锤出现不冲击现象,且没有进尺。此时向井内注入泡沫剂上下划眼,潜孔锤仍然不冲击。于是提出钻具检查,发现Ø450 mm集束式潜孔锤钻头6个子锤全部断裂落入井内(如图3所示)。

### 3.2 Ø660 mm 集束式扩孔潜孔锤试验情况



图2 潜孔锤孔口测试



图3 被打捞上来的掉落孔内的子锤

针对 $\varnothing 450$  mm集束式扩孔潜孔锤试验中,由于潜孔锤子锤断裂,无法扩孔。项目组进行了认真分析和总结,为了更好地控制进入钻头的风量,在 $\varnothing 660$  mm钻头上部又增加了一组旁通阀和一个调节阀(如图4、图5所示)。



图4 调节阀

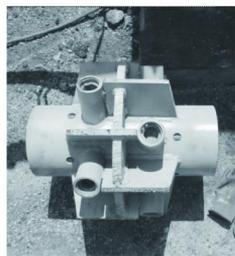


图5 旁通阀

根据气压、风量、子锤冲击频率将调节阀调至 $1/2$ 状态,然后将 $\varnothing 660$  mm集束式扩孔潜孔锤下入井内进行试验。启动6台空压机,由于进尺慢,考虑可能是潜孔锤冲击频率低所造成,随之将空压机增至8台,此时进尺快且返渣顺畅。当钻进至22.79 m时,钻杆扭矩变大且空压机有憋风现象,边观察边钻进2.21 m后,即井深25 m时,提钻检查,发现空压机憋压现象的主要原因是气量控制阀的通气量和旁通阀的通气量可能过小。随后将气量控制阀调整至 $2/3$ 状态,再次下入井底送风,潜孔锤工作正常。扩孔钻进至27 m时,井内有水,出现岩粉上返不利

现象。针对这种情况,又将空压机增至10台,并向井内注泡沫剂协助排岩,井内返渣排水正常(如图6所示), $\varnothing 660$  mm扩孔钻进累计152.59 m。



图6 排出岩粉

#### 4 技术难题和解决措施

(1)由于结合立井施工工程,上部井径较大( $\varnothing 854$  mm),在试验过程中,此段(0~11 m)出现风量不够而吹不上岩屑来的现象,为了解决此问题,通过在 $\varnothing 854$  mm套管内分别下入 $\varnothing 472$ 和688 mm导渣管,解决了岩粉无法排出的问题。

(2)在试验中携渣所需的风量大(预计最高达到 $450 \text{ m}^3/\text{min}$ ),由于SS-185K型钻机动力头通径(76 mm)和 $\varnothing 127$  mm钻杆通径(83 mm)小,理论计算会造成空压机憋压的现象。为了证实理论计算数据,项目组首先采用 $\varnothing 127$  mm钻杆和一套注气管路进行试验,当注气量达到 $196 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,空压机压力达到最大峰值340PSI,使空压机憋压。为了解决此问题,采用2套注气管路,一套从动力头注入,一套从气盒子注气,如图7所示,这样便增大了注气通道,减少了注气压力损耗,保证了携岩和钻进所需的风量和压力。



图7 2套气路、注气旁通阀和控制阀

(3)试验中,由于集束式潜孔锤对风量、风压有一定的要求(风量 $40 \sim 100 \text{ m}^3/\text{min}$ ,风压 $0.8 \sim 2.1 \text{ MPa}$ ),而上排渣携岩所需的风量达 $400 \text{ m}^3/\text{min}$ 以

上,如何有效地将供气量分摊,既满足潜孔锤在规定的技术参数内工作,又满足正循环排渣所需的风量。项目组采用了旁通阀和控制阀对进入集束式潜孔锤的风量进行调节和控制,但由于进入钻头的气量无法用仪表测量。如何使通过集束式潜孔锤的出气量在厂家要求的范围内,对锤体不造成损坏是本次试验的技术难题。在试验中,通过调节旁通阀和控制阀(如图7所示),使注入的压缩空气量在钻头正常冲击频率的范围内,便可保证潜孔锤正常工作。

(4)由于钻头直径大,钻进所产生的岩屑多,所使用的风量大,如果直接排出,大量的岩粉会对人员和设备造成危害,同时也对井场周边环境造成污染,项目组经认真研究,在井口设计安装一台排渣头(见图8)。排渣头安装有喷淋泵,以便稀释岩粉及降尘,排渣管前段伸向坑内2 m处。



图8 排渣头

(5)本次试验扩孔钻进至27 m时遇含水层,返渣不畅,进尺慢。项目组针对这种情况,采用向井内注入泡沫剂协助排岩达到排渣的效果,提高了钻进效率,预防了孔内事故。

## 5 取得的钻进技术成果

(1)通过增多送气管路和增加送气管路途径,利用气盒子分摊气量,解决了风量通过管径时压力损耗大的难题。

(2)采用 $\varnothing 178$  mm 钻杆加旁通阀和控制阀,通过对集束潜孔锤冲击频率调整,有效地将风量分摊给钻头。

(3)从 $\varnothing 450$ 、 $660$  mm 集束潜孔锤冲击频率和所需的风量的测试对比分析得出:当没有调节阀时,风量为一个恒定值时,压力也为一个恒定值;当有调节阀时,风量为一个恒定值时,压力随着调节阀的开启量的增大而减小;随着高压管汇增多、钻杆内径增大,风量为恒定值时,压力随之减小;通过和理论计

算对比,实验的压降损耗低于理论;随着井深的延长压降逐渐增大。

(4)掌握了在含水层岩层特性,对大直径扩孔钻进的各项技术参数影响,通过在现场进行不同口径的上排渣所需风量试验,与理论计算所需的风量对比分析。无论是地层含水或无含水层时,理论计算值均高于实际所需的风量值。随着井径、井深的增大和地层含水增多,所需的风量逐渐增大。

(5)实现集束式扩孔潜孔锤正循环钻进方法,在较完整岩石中钻进的高效性。

(6)利用可调式排渣头实现对大直径钻进产生的岩屑对人员、设备、环境危害的控制。

## 6 结论及认识

(1)通过试验表明:大直径集束潜孔锤可以实现正循环扩孔钻进。

(2)掌握了大直径集束潜孔锤正循环扩孔钻进技术参数及钻具组合,摸索了在松散含水层等岩层特性对大直径扩孔各项技术参数的影响。

(3)实现了大口径集束潜孔锤扩孔钻进的高效性,钻进效率是普通泥浆扩孔钻进的10倍。

(4)采用大直径集束潜孔锤扩孔钻进所需供风系统复杂,设备投入量大,钻进成本高。

(5)通过该项目第一阶段的试验,总结分析了采用大直径集束潜孔锤正循环钻进工艺存在的局限性。尤其对风量、风压、井深和钻杆直径变化及现场操作取得的成果资料进行总结梳理优化,对以后大直径空气潜孔锤快速加深钻进打下了基础。

## 参考文献:

- [1] 卢予北. 空气潜孔锤在松软地层中的钻进试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(7): 9-11.
- [2] 张秋冬. 大口径空气钻进工艺在大陆科学钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(5): 10-13.
- [3] 冯启赠. 全液压车装钻机在集束式潜孔锤反井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 23-26.
- [4] 陈怡. 空气潜孔锤钻进技术在援豫抗旱找水成井施工中的应用[J]. 贵州地质, 2012, 29(2): 128-131.
- [5] 杨富春. 空气潜孔锤在水源钻井中的应用[J]. 中国煤田地质, 2009, 21(6): 71-73.
- [6] 耿瑞伦, 陈星庆, 等. 多工艺空气钻探[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [7] 马植侃, 汪滨, 刘建民. 钻探工程学[M]. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [8] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2006.