

空气反循环钻探技术在矿山勘查中的应用

苏敬达

(中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,湖南长沙410014)

摘要:在矿山勘查中,传统的岩心钻探技术存在成孔周期长、成本高等问题,而空气反循环钻探技术的施工效率高、成本较低。本文改进了空气反循环钻探技术的钻头和封隔套的流体构造,并将其应用到矿山勘查中。与传统岩心钻探技术相比,空气反循环钻探技术的钻进效率提高了70%~90%,成本降低了30%~50%,钻孔事故率降低了60%~70%,施工过程无泥浆污染,产生粉尘极少,实现了绿色勘查的要求。

关键词:空气反循环钻探;矿山勘查;钻进效率;双壁钻杆;封隔套;反循环钻头

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)12-0038-05

Application of air reverse circulation drilling technology in mine exploration

SU Jingda

(Powerchina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha Hunan 410014, China)

Abstract: In mine exploration, traditional core drilling has problems such as long drilling period and high cost, while air reverse circulation drilling has high drilling efficiency and low cost. In this paper, the fluid structure of the drill bit and the packing sleeve for air reverse circulation drilling has been improved and applied to mine exploration. Compared with traditional core drilling, air reverse circulation drilling has increased drilling efficiency by 70%~90% with costs reduced by 30%~50%, the drilling accident rate reduced by 60%~70%, no mud pollution in the drilling process, and less dust, meeting the requirements of green exploration.

Key words: air reverse circulation drilling; mine exploration; drilling efficiency; dual-wall drilling pipe; packer; reverse circulation bit

0 引言

空气反循环钻探技术以压缩空气为介质,具有钻进效率高、取心污染少、施工成本低的特点,可广泛应用于缺水地区^[1-3]。

自20世纪70年代以来,空气反循环钻探技术成为美国、加拿大等国家广泛采用的一种全新钻进方法。美国使用这项技术完成的地质勘探工作,接近其全部工作的60%;澳大利亚则超过80%^[4]。美国、德国和法国都有一系列的钻杆、钻头和辅助工具,使这项技术得到广泛应用。应用广泛的品类有:德国DSG双壁钻杆系列和NW法兰钻杆系列,

美国沃克尼尔公司CON-COR双壁钻杆系列,法国福拉克双壁钻杆系列。此外,全液压动力头钻机和空气压缩机的品种也很齐全,如德国B系列空气反循环钻机、K5-H型空压机等,为空气反循环钻探技术的推广奠定了良好的基础。

我国的空气反循环钻探技术研究方面,已经研发了全液压动力头钻机,以及56/46、73/63、89/78、114/100等系列双壁钻杆^[5]。然而,空气反循环钻探技术在我国矿山勘查施工中的应用还不十分广泛^[6]。我们通过改进钻头和封隔套的流体构造,将空气反循环钻探技术应用到矿山勘查项目中,与传

收稿日期:2021-04-02;修回日期:2021-09-03 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.12.007

作者简介:苏敬达,男,汉族,1989年生,项目负责,注册岩土工程师,长期从事钻探技术研究工作,湖南省长沙市雨花区圭塘香樟东路16号, sujingda230@163.com。

引用格式:苏敬达.空气反循环钻探技术在矿山勘查中的应用[J].钻探工程,2021,48(12):38-42.

SU Jingda. Application of air reverse circulation drilling technology in mine exploration[J]. Drilling Engineering, 2021,48(12):38-42.

统岩心钻探技术比较关键指标,验证其应用效果。

1 矿区概况

应用地点位于珲春紫金北山矿段露天采矿场南部坑底区域(1—5线)项目,2019年度设计钻孔93个,工作量5942 m。工程钻遇地层为二叠系下统亮子川组和三叠系上统三仙岭组,走向 $330^{\circ}\sim 345^{\circ}$,倾向南西,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$,局部板理较发育。主要岩性有黑色板岩、粉砂质板岩、堇青石板岩、角岩、英安岩、流纹岩、夹凝灰质砂岩(见图1)。



图1 矿区出露岩石

Fig.1 Rock outcropping in the mining area

钻探工程施工质量执行《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2010),要求终孔孔径 ≤ 75 mm;围岩平均岩心采取率 $\leq 70\%$,矿心及其顶底板围岩3~5 m内平均岩心采取率 $\leq 85\%$;钻孔为直孔,顶角每100 m及见矿及终孔测1次,每100 m顶角偏斜 $\leq 2^{\circ}$;孔斜每超过 3° 时需测方位角;终孔后校正孔深允许误差 $\geq 1/1000$ 。

工作区多年的露天开采使矿区地下水位下降较大,岩层风化强度大,吸水性强,溶解速度快,为水敏性较强的地层。为应对这种情况,采取空气反循环钻探技术。

2 空气反循环钻探技术的应用

2.1 技术原理

空气反循环钻探技术配套的工具和设备包括空压机、全液压力头钻机、双壁钻杆、潜孔锤、钻头、旋流器和分样器等。工作原理是压缩空气从全液压力头下面侧入式的双通道气水龙头进入,经外平式双壁钻杆的内外管环状间隙,到达钻头底部携带岩屑,从钻杆内管中心通道上返。双壁钻杆是实现

空气反循环钻探技术的重要器具,它不仅要传递压力和扭矩^[7],还要为压缩空气和高速上升气流提供连续的通道^[8-10];同时岩样不直接接触孔壁,可判断地层的准确状况^[11]。在潜孔锤钻进时,压缩空气有2种功能,一种是为潜孔锤活塞运动提供能量,另一种是冷却钻头及携带岩屑,上返风速必须大于岩屑颗粒的自由悬浮速度。

空气反循环钻探技术有利于在复杂地层中钻进,用于钻穿断层破碎带、粘土层、风化层等,避免造成钻孔缩径与坍塌事故^[12-13]。可用于很多地层条件,如火成岩、变质岩和可钻性在6级以上的沉积岩;片层发育、软硬不均匀以及多裂隙等容易产生孔斜的地层;卵砾石层、漂砾层、漏失层以及溶洞地层;沙漠、干旱、高寒山区和永久冻土层等复杂地层^[14]。

2.2 施工设备及钻具

2.2.1 钻机

根据项目特点,选用YSL-500RC型反循环钻机(见图2),该钻机采用履带底盘装载、全液压驱动、动力头式钻机,其最大起拔力160 kN,最大给进力100 kN,行程3500 mm,输出转速(正/反)35/71(低挡)、57/114(高挡),最大输出扭矩10 kN·m,通孔直径370 mm,柴油机功率125 kW。可进行常规回转钻进、冲击回转钻进,也可以进行空气反循环钻进。对各类地层和复杂工况有较好的适应性,可有效解决在松散覆盖地层、卵砾石层、基岩破碎地层中钻进时成孔困难的问题,拥有十分广泛的用途。



图2 YSL-500RC型反循环钻机

Fig.2 YSL-500RC reverse circulation drilling rig

2.2.2 空压机

因钻孔直径在 115 mm\孔深在 130 m 以内,根据双臂钻杆上返流速,使用开山 KSZJ-29/23G 型移动螺杆式空压机,该空压机主要技术参数为:额定排气压力 2.3 MPa,公称容积流量 29 m³/min。

2.2.3 双壁钻杆

使用 Ø89 mm/Ø43 mm 外平双壁钻杆,长度 3 m。钻杆采用接头与管体螺纹连接形式,环氧树脂胶结,既保证了气密性,又便于更换损坏件。内管采用插接式结构,2道密封,钻杆柱的气密性好。

2.2.4 气动潜孔锤及钻头

使用 FQC345 型反循环潜孔锤,潜孔锤外径 105 mm,工作气压 0.7~2.1 MPa,耗风量 5.7~14 m³/min。钻头选用 115-SPMF345 型高压冲击钻头,直径为 115 mm。

2.2.5 旋流器

钻机配备 XCQ 型旋流器(见图 3),内径 150 mm,溢流粒度 20~74 μm,处理能力 5 m³/h。这种旋流器结构简单,内部无运动件,体积小,除尘效率高,使用寿命长,操作简单。



图3 XCQ型旋流器

Fig.3 XCQ15 cyclone

2.3 钻进技术参数

2.3.1 钻压

如果钻压太小,很难克服潜孔锤工作时的背压和反弹力,影响冲击力的有效传达。然而,如果钻压过大,则旋转阻力增大,从而使钻头发生早期磨损。

一般来说,合理钻压为 7~35 kN。

2.3.2 转速

旋转速度的选择主要取决于潜孔锤的冲击频率大小和岩石的物理力学性能。合理的旋转速度通常由 2 个间隔的旋转角度表示的最佳冲击间隔确定,转速与冲击频率和最优转角的关系为^[5]:

$$A=360N/F$$

式中:A——最佳旋转角度,(°);N——旋转速度,r/min;F——潜孔锤锤击频率,次/min。

FQC-345 型潜孔锤的冲击频率为 800 次/min 以上,最佳旋转角度为 11°,合适的旋转速度为 25.2 r/min。

2.3.3 空气压力

空气压力是决定潜孔锤冲击力和频率的重要因素,是影响钻进速度的主要参数。除了满足潜孔锤的工作压力外,空气压力还必须克服管道损失和孔内的压力下降。如果孔内有水位的话,还要增加克服背压、顶开水柱的压力,每 100 m 地下水约消耗 1 MPa 风压^[15]。在一定范围内,空气压力与钻进速度成正比,但空气压力过高会造成锤头的高速磨损、孔壁冲刷严重、反循环形成困难、油耗增加等不良影响。一般来说空气压力 0.8~1.2 MPa 为佳。

2.3.4 风量

空气反循环钻探技术所需的风量不受钻孔直径的影响,其影响因素取决于双壁钻杆中心通道的截面积和上返速度,需要的空气量很小。采用 Ø89 mm/Ø43 mm 双壁钻杆时,反循环钻进工艺所需风量仅为 2.5 m³/min。

3 相关技术措施

3.1 钻头钻进效率和使用寿命

钻头是传递扭矩和冲击能量并直接接触破碎岩石的工具,根据岩石物理性质不同,合理选用不同形式的钻头是提高钻进效率、增加钻头使用寿命的重要技术条件^[16]。钻头结构上的流体构造(见图 4),对反循环排粉情况有较大影响。有利的流体构造可以避免重复破碎,提高钻进效率。

在钻头外圈使用超强保径的胎体,避免钻头非正常磨损,提高钻头寿命,减少起下钻换钻头次数,也能够大幅缩短钻孔辅助时间。



图4 改进流体构造的钻头

Fig.4 Bit with the improved fluid structure

3.2 封隔套封堵效果

高压空气送入孔底后,有2种循环趋势,当反循环趋势强时形成反循环,反之则形成正循环。当选用钻杆和钻孔直径的级配不合理时,即产生正循环^[17],因此应根据钻杆和钻孔直径,在钻杆与冲击器之间设计使用合适尺寸的管外封隔套,才能有效建立起反循环。为此,采用外径为113 mm的封隔套,比原先的外径增大了3 mm,使得孔壁与封隔套的间隙缩小至1 mm。试验表明,该改进很大程度解决了封堵效果不佳的问题,岩粉采取率大大提高。

3.3 岩屑采取质量

返回孔口的样品被输送到旋流器,经过旋流器分离和除尘后,岩屑样品从旋流器下部出口排出,用样品袋收集,净化后的气体从排气管排出。然后对样品袋进行称重,填写安放样品卡。同时在样品袋口做好标志,防止样品卡被损坏影响样本识别。采取的岩屑如图5所示,粒度分选很好。

3.4 粉尘污染

在钻头结构上采用前述流体构造,可在井底形



图5 岩屑

Fig.5 Rock cuttings

成所需要的负压抽吸岩粉的作用,能够很大程度解决岩粉外泄到循环通道之外的问题。此外,使用前述封隔套,减小与钻孔的间隙,也能阻止岩粉从循环通道外上返泄露。

4 应用效果

在“吉林珲春紫金空气反循环钻探项目”中,地层主要为硬度极高的花岗岩,针对地层特点进行钻头选型,有效提高了钻进效率,日均进尺达到110 m,在60天内完成了5942 m工作量,同时解决了在该地层中反循环系统不能有效建立的问题,保证了样品的质量。

经过统计,利用空气反循环钻探工艺,与传统岩心钻探相比,钻进效率提高了70%~90%,成本降低了30%~50%,钻孔事故率降低了60%~70%,施工过程无泥浆污染,产生粉尘极少,实现了绿色勘查的要求。

5 结语

(1)钻头采用流线型构造和使用超强保径胎体,能够很大程度解决反循环排粉不佳的情况,避免重复破碎,提高钻进效率,并且能够有效提高钻头寿命。

(2)采用外径尺寸合适的管外封隔套,使得孔壁与封隔套的间隙更加合理,很大程度解决了封堵效果不佳的情况,岩粉采取率大大提高。

参考文献(References):

- [1] 黄玉锦,赖举立,阮诗昆.空气反循环钻探在紫金山金铜矿生产勘探中的应用[J].地质学刊,2019,43(1):161-165.
HUANG Yujin, LAI Juli, RUAN Shikun. Application of air reverse circulation drilling to the production and exploration of Zijinshan Gold-Copper Mine[J]. Journal of Geology, 2019, 43(1): 161-165.
- [2] 李永,王德龙,王占丑,等.空气反循环连续取样钻进技术在紫金山金铜矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):45-47.
LI Gong, WANG Delong, WANG Zhanchou, et al. Application of air reverse circulation continuous sampling drilling technology in Zijinshan Gold-Copper Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(6): 45-47.
- [3] 李雪峰.空气反循环钻机及其在乌山铜钼矿的应用实践[J].黄金,2012,33(12):34-38.
LI Xuefeng. Air reverse circulation drill and its application in

- Wushan Copper-Molybdenum Mine [J]. *Gold*, 2012, 33(12): 34-38.
- [4] 范黎明, 殷琨, 张永光, 等. 基于引射原理的侧吸式反循环钻头结构参数数值研究[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2011, 42(1): 220-226.
FAN Liming, YIN Kun, ZHANG Yongguang, et al. Numerical investigation of geometry parameters on side-ejector DTH hammer RC bit[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2011, 42(1): 220-226.
- [5] DZ/T 0227-2010, 地质岩心钻探规程[S].
DZ/T 0227-2010, Geological core drilling procedure[S].
- [6] 李艳丽, 王振志, 李晓晖, 等. 正循环潜孔锤实现反循环钻进双壁钻具配套研制[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(2): 52-55.
LI Yanli, WANG Zhenzhi, LI Xiaohui, et al. Development of double-wall drilling tools matching for reverse circulation drilling by positive DTH [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(2): 52-55.
- [7] 杨虎伟. 大直径扩孔用反循环钻进双壁钻具研制[J]. *煤矿机械*, 2020, 41(1): 157-159.
YANG Huwei. Development on dual-wall drilling tool for reverse circulation drilling and large-diameter reaming [J]. *Coal Mine Machinery*, 2020, 41(1): 157-159.
- [8] 马福保, 孙丽雪, 赵瑜, 等. 煤矿救生系统地面钻孔用双壁钻杆[J]. *煤矿机械*, 2014, 35(6): 135-137.
MA Fubao, SUN Lixue, ZHAO Yu, et al. Surface drilling for coal minerescue system of double wall drill pipe [J]. *Coal Mine Machinery*, 2014, 35(6): 135-137.
- [9] 李永和. 双壁钻杆低压钻井工艺技术[J]. *石油钻探技术*, 2007, 35(2): 1-4.
LI Yonghe. Low pressure drilling technique with dual-wall drill [J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2007, 35(2): 1-4.
- [10] 孙宝江, 公培斌, 刘震, 等. 双通道钻杆反循环钻井方法在深水钻井中应用的可行性探讨[J]. *中国海上石油*, 2013, 25(1): 49-53.
SUN Baojiang, GONG Peibin, LIU Zhen, et al. Feasibility study of thereverse circulation drilling method with dual concentric drill pipein deep water [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(1): 49-53.
- [11] 陆生林, 邓梦春, 李正前. 空气反循环取样钻探与岩心钻探的地质找矿效果对比研究[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(11): 8-11.
LU Shenglin, DENG Mengchun, LI Zhengqian. Air reverse circulation drilling and core sampling drilling in geological prospecting effects [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(11): 8-11.
- [12] 李锋. 空气反循环连续取样钻探技术在新疆乌什磷钒矿区的应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2013, 40(5): 23-25.
LI Feng. Application of air reverse circulation continuous sampling drilling technology in a mine Xinjiang [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2013, 40(5): 23-25.
- [13] 郑伯乐, 郑秀华, 段晨阳, 等. 气举反循环钻进井壁稳定及适用性探讨[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(6): 13-18.
ZHENG Bole, ZHENG Xiuhua, DUAN Chenyang, et al. Discussion on stability and applicability of gas lift reverse circulation drilling [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(6): 13-18.
- [14] 翟立新, 杨建利, 王雷浩. 潜孔锤反循环钻进工艺在拉拉铜矿的试验应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2016, 43(1): 66-69.
ZHAI Lixin, YANG Jianli, WANG Leihao. Experimental application of DTH hammer reverse drilling technology in Lala Copper Mine [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(1): 66-69.
- [15] 仲思柏. 空气反循环钻进工艺在白杨河地区的应用研究[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(S1): 68-71.
ZHONG Sibai. Application research on air reverse circulation drilling technology in Baiyanghe area [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(S1): 68-71.
- [16] 许刘万, 刘智荣, 赵明杰, 等. 多工艺空气钻进技术及其新进展[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2009, 36(10): 8-14.
XU Liuwan, LIU Zhirong, ZHAO Mingjie, et al. Alternative process air-drilling technology and its new development [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2009, 36(10): 8-14.
- [17] 冯常英, 刘殿有, 皮微微, 等. 空气反循环连续取样在含金砾岩钻探中的应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2016, 43(2): 48-52.
FENG Changying, LIU Dianyou, PI Weiwei, et al. Application of air reverse circulation continuous sampling in auriferous conglomerate [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(2): 48-52.

(编辑 李艺)