

旋挖钻机在特殊工况中的减压钻进研究

张继光¹, 贾学强¹, 苏陈¹, 贾炜²

(1. 徐州徐工基础工程机械有限公司, 江苏 徐州 221001; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:为解决旋挖钻机在脆性岩层或者软硬交替地层等特殊工况中加压钻进出现的钻机高频高幅振动和钻孔极易倾斜等问题,对旋挖钻机入岩的碎岩机理进行分析,找出加压钻进产生问题的原因。对减压钻进施工工艺进行研究,提出实现方式及适用范围,并进行实际工程应用,验证了旋挖钻机使用减压钻进施工的可行性。应用结果表明,特殊工况下减压钻进对降低设备的入岩振动、提高设备的结构稳定性以及保证成孔质量都具有重要作用。

关键词:旋挖钻进;减压钻进;入岩钻进;孔斜;脆性岩层;软硬交替易斜地层

中图分类号: TU473.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)06-0109-04

Rotary drilling with reduced WOB under special working conditions

ZHANG Jiguang¹, JIA Xueqiang¹, SU Chen¹, JIA Wei²

(1. Xuzhou Xugong Foundation Construction Machinery Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu 221001, China;

2. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In order to solve the problems of high-frequency and high-amplitude vibration and easy deviation of drilling holes with rotary drilling at increased WOB under special working conditions, such as brittle rock, soft and hard alternate formation, this paper analyzes the rock crushing mechanism of rotary drilling rig to find out the causes of the drilling problems at increased WOB. Study was conducted on the drilling process at increased WOB with the implementation plan and applicable scope put forward. Field application of the process was performed to verify its feasibility, and the results showed that rotary drilling at reduced WOB was of great significance to reduce drilling vibration, improve the structural stability of equipment and ensure the borehole quality.

Key words: rotary drilling; drilling at reduced WOB; rock drilling; hole deviation; brittle rock; soft and hard alternate formation

0 引言

随着近年来国内旋挖钻进行业的快速发展,越来越多的旋挖钻进入岩要求被提出,而为适应这一市场趋势,旋挖钻机厂家推出了入岩性能强劲的中大型旋挖钻机。伴随着旋挖钻机型号越来越大,作为旋挖压力、扭矩等参数的直接传递者——钻杆这一工作装置在逐步地加粗、加重^[1]。这种情况下,虽然旋挖钻机对硬岩地层的适应能力在逐步加强,但是在处理强度不太高的脆性岩层或者软硬交替易斜孔地层时,过大的钻杆自重则成为钻进时的一种负担,甚至会对设备自身结构稳定性产生一定的影

响^[1]。本文从旋挖钻机破碎岩石的机理出发,列举部分工况下加压过大导致的入岩问题^[2],探讨在一些特殊工况下采取减压钻进模式的工法。

1 旋挖钻机在入岩钻进中的工作模式

1.1 碎岩机理

旋挖钻机入岩钻进可划归为硬质合金回转钻进工艺。钻进时,钻头切削具在轴向压力(钻具自重以及动力头压力)的作用下压入岩石,在回转水平力(扭矩)的作用下沿孔底破碎岩石。结合压头压入岩石的基本现象和旋挖截齿的特点,这里可以

收稿日期:2021-01-11; 修回日期:2021-03-13 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.06.017

作者简介:张继光,男,汉族,1973生,技术中心主任,高级工程师,机械工程专业,硕士,主要从事桩工机械设计及工法研究工作,江苏省徐州市经济开发区驮蓝山路36号,1649752486@qq.com。

引用格式:张继光,贾学强,苏陈,等.旋挖钻机在特殊工况中的减压钻进研究[J].钻探工程,2021,48(6):109-112.

ZHANG Jiguang, JIA Xueqiang, SU Chen, et al. Rotary drilling with reduced WOB under special working conditions[J]. Drilling Engineering, 2021,48(6):109-112.

推论出以下观点(主要讨论脆性岩石):

(1)截齿在轴向压力足够大时,在接触岩石的瞬间过程中,可发生多次跃进侵入,但是这种跃进侵入以破碎坑中钻渣被充分清除(保证足够小的接触面积)为前提;

(2)截齿在扭矩作用下,切割破碎坑前部岩石,并排除其中的钻渣,保证下次跃进侵入;

(3)截齿在旋转过程中,不断向下侵入,因此在轴向力和水平力的共同作用下,导致孔底岩石以螺旋层形式连续被破碎^[3]。

1.2 碎岩过程

旋挖钻机在钻孔作业时,动力头驱动液压马达经减速机和齿轮箱两级减速带动钻杆旋转,同时加压油缸加压使动力头产生垂直向下的压力,通过钻杆传递给钻头,该加压力和钻具自重一起对钻头切削形成轴向压力,切削齿在压力作用下压入岩石,在回转水平力(扭矩)的作用下沿孔底破碎岩石。因此,在旋挖钻头每旋转一周的过程中,其孔底破岩的曲线都可以视为是螺旋线,即侵深不断增大,水平切削阻力不断增大^[4]。

2 旋挖钻机加压钻进入岩问题

在大多数工况下,旋挖钻机都会采用加压钻进入岩的工艺,但在某些工况(如脆性岩石钻进、易倾斜地层钻进等)下,加压钻进会出现一些问题,比如动力头转速波动造成动力头事故、钻机整机的上下高频振动^[5]、钻孔极易倾斜、钻杆弯曲折断等等,这些问题都对入岩钻进中设备结构稳定性及成孔质量造成了极大的影响。

2.1 动力头转速波动造成动力头事故

从旋挖截齿碎岩过程可以看出,岩石破碎并不是连续平稳进行的,而是呈现跳跃式的有规律变化:在每一次剪切发生之后,施加在截齿上的水平力 P_x 就会减小,接触到岩石之后, P_x 力会再次增大。因此,在整个钻进过程中,水平力的变化可用图1表示。而 P_x 水平力的产生,是动力头扭矩提供的,水平力的波动也就导致了动力头转速的波动,图1也可以看作动力头转速的变化曲线^[5-6]。

针对这一现象,很多钻机厂家推出了低速大扭矩的入岩钻进模式,虽然该模式能使岩石水平切削状态尽可能的平稳,但是不能完全消除转速的波动,动力头转速长时间的波动会引发各处密封件的失



图1 切削力波动曲线

Fig.1 Fluctuation curve of the cutting force

效,降低马达和减速机的寿命。

2.2 旋挖钻机整机上下高频振动

在旋挖钻进过程中,跃进式侵入是随着回转过程不断发生的。跃进的过程中,动力头带着钻杆一起向下移动,侵入结束后,阻力增大。根据动量守恒定律,动力头和钻杆移动受阻产生的动量损失,最终通过动力头反馈到整机之上,导致整机产生振动。这种振动的频率和幅度则完全由转速和压力决定:即转速越高,跃进侵入的频率越大,振动频率越大;压力越大,单次侵深越大,振动的幅度也就越大^[7]。

这种入岩产生的振动对设备各零部件的损伤极大,长时间的入岩钻进,不可避免地会在一定程度上影响设备的使用寿命。

2.3 旋挖钻孔倾斜

钻孔倾斜(这里主要分析地层因素)是旋挖钻进过程中经常遇到的一类问题。这类问题通常发生在软硬交替地层(如图2)、含有大漂石、孤石地层或者松软地层,在这些地层中,由于钻头在孔底受力不均匀,导致钻头在加压力的作用下向较软的一侧偏斜,最终导致钻孔倾斜^[8-11]。

另外,随着桩基工程的孔深不断加深,桩径不断

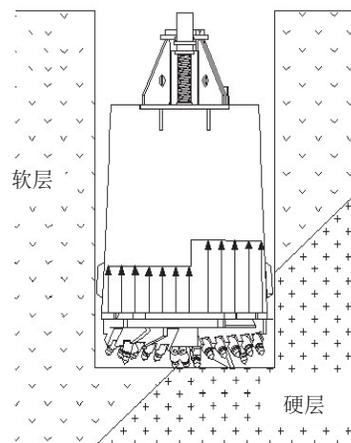


图2 钻进软硬互层破碎阻力分布

Fig.2 Breaking resistance distribution in drilling hard and soft alternate formation

增大,在钻孔内部,钻杆和钻头的细长比较大,这样随着钻进深度的增加,即使动力头不加压,由于钻杆和钻具较细但自重过大,同样会导致钻孔倾斜^[12-13]。

2.4 加压钻进易引发钻杆事故

在深孔钻进且地层较硬时,由于钻杆多节伸出,压力较大时,如孔稍有倾斜,或桅杆稍有后仰,钻杆极易产生弯曲,此时,再大力孔口加压,不仅不会提高进尺效率,反而会增大孔斜,造成钻杆第三、四节中段折弯,键条、管体开裂,钻杆与钻头连接方头严重受弯变形断裂等事故,造成巨大经济损失^[14]。

综上所述,旋挖钻机加压钻进会带来一定的负面效果,有些会对施工造成不可挽回的损失,因此本文提出,在某些特殊地层中(强度不高的岩石地层、软硬交界地层),为提高设备的稳定性,避免钻孔施工倾斜,减少钻杆的固障率,采用减压钻进模式。

3 减压钻进模式的研究

3.1 减压钻进的概念

减压钻进,即通过一定的技术手段来控制孔底碎岩工具的钻进压力(切削钻具所受轴向压力),使其不超过钻具的自重压力。

3.2 减压钻进的实现方式

由于旋挖钻进过程中,旋挖钻机动力头必须随钻杆一起向下运动(避免不同步造成摔杆、砸杆),这就使得孔底压力大于钻具自重压力。因此,要想实现减压钻进,需要在主卷扬上进行改进,使主卷扬钢丝绳对钻杆施加提升力,从而降低孔底压力,且要保证动力头与主卷扬下放速度同步。

3.3 减压钻进的适用范围

采用减压钻进工艺的一个充分条件是,孔底切削钻具受到的轴向压力过大(相对于地层强度而言)。因此,通过上述分析,将这种工艺的适用范围总结如下:

(1)施工地层方面:采用减压钻进可大幅度减少钻孔倾斜问题的发生,建议施工泥质类岩石、软硬交替地层、含漂石孤石地层、卵砾石地层、松软砂层等考虑采用减压钻进。

(2)钻机扭矩方面:钻机型号加大会引发钻杆钻具自重随之增加,建议中大吨位钻机(360 kN·m以上)可考虑采用减压钻进。

(3)钻孔直径方面:小孔径施工,钻齿数量少,单个钻齿的承载力大,会造成钻机高频振动;孔径过大会引发钻孔倾斜。因此建议钻孔直径小于1.2 m或

大于3.0 m,可采用减压钻进,甚至牺牲一定的钻进效率来换取安全稳定的施工。

(4)钻孔深度方面:深孔施工极易发生钻孔倾斜问题,建议70 m以深钻孔采用减压钻进,并增加孔内扶正装置,提高钻孔垂直度。

4 减压钻进的工程应用

4.1 在小直径钻孔中的应用

在杭黄铁路客运专线HHZQ-7标潭头溪特大桥桩基施工过程中,使用徐工XR360型旋挖钻机施工 \varnothing 1.8 m、深26 m左右的桩孔,地层依次为回填层、强风化泥岩、中风化泥岩以及微风化泥岩,微风化泥岩强度不高容易压碎。现场分别采用了1.8 m直接成孔和1.0 m一开再扩孔2种方案进行比对:

(1)1.8 m截齿捞砂钻头直接成孔:使用动力头加压,采用动静耦合的操作方式,转速较高,但进尺速度较慢,不足1 m/h,整机状态为高频小幅振动。

(2)1.0 m截齿捞砂钻头一开钻进,不进行动力头加压,整机已呈现出低频大幅度的振动,动力头转速很慢,虽然进尺速度较快,但是出于安全的考虑不得不停止钻进。

经分析:该钻机配置的钻杆重力为145 kN,1.0 m钻头的重力为12 kN,截齿个数为11个;1.8 m钻头的重力为29 kN,截齿数量为22个。通过计算可得出,在自重条件下,1.0 m捞砂钻头其单个截齿所受轴向压力为14 kN,1.8 m捞砂钻头其单个截齿所受轴向压力为8 kN。这就表明,在1.0 m钻头钻进时,由于钻具自重给切削齿施加的轴向压力过大,导致钻头接触跃进式侵入过大,钻进无法进行。

改进方案:通过编程改变主卷扬电控溢流阀限制条件,使主卷扬给予60 kN提升力,1.0 m钻头上单个截齿所受轴向压力降为7.7 kN。施工发现,钻机振动幅度明显减小,主机稳定性得到大幅提升,同时进尺速度 >3 m/h,实现了高效安全施工。

4.2 在大直径钻孔中的应用

芜湖长江二桥桩基施工中,采用XR460D型旋挖钻机钻进 \varnothing 3.4 m/3.0 m变径、80 m左右桩深的桩孔,地层从上至下为:粉砂、中砂、细砂、中砂、卵石土、强风化泥质粉砂岩、中风化泥质粉砂岩,地层硬度整体偏低。施工工艺采用分级钻进,护筒内先施工 \varnothing 3.4 m钻孔,超过护筒后,使用 \varnothing 3.0 m钻头钻进,遇见硬层时分级钻进,再扩孔至 \varnothing 3.0 m。

在试桩完成后,通过超声波检测,发现从护筒下部砂层开始,钻孔有明显的孔斜迹象,钻孔垂直度超出了设计要求的0.5%。

经分析,X460D型钻机的钻具重力大(钻杆和钻头总重力可达300 kN),在自放状态下,钻具重力全部施加于孔底,在钻进松软砂层时会导致钻进速度过快,且钻孔直径较大,孔深较深,钻具自立性差,故造成钻孔倾斜。

经及时改进,在后续钻孔施工遇松软砂层时,通过使主卷扬钢丝绳承载一定的钻具重力,降低孔底压力,避免进尺过快而造成钻孔倾斜,钻孔垂直度满足了设计要求。

5 结语

通过对旋挖钻机碎岩机理的分析,列举加压钻进在施工过程中易出现的问题,提出减压钻进模式的概念和实现方式,并针对性地通过施工实例进行验证,表明:在旋挖钻机进行部分特殊工况施工时,采用减压钻进,对减少设备的入岩振动、提高设备的结构稳定性以及保证成孔质量(预防倾斜)都具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 黎中银,夏柏如,吴方晓.旋挖钻机高效入岩机理及其工程应用[J].中国公路学报,2009,22(3):121-126.
LI Zhongyin, XIA Bairu, WU Fangxiao. Mechanism of efficient rock cracking and its engineering application of rotary drilling rig[J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22(3): 121-126.
- [2] 韦正茂.湿陷性黄土地区大直径深长桩基施工技术[J].建筑技术开发,2019,46(19):38-40.
WEI Zhengmao. Construction technology of large diameter and deep long pile foundation in collapsible loess area[J]. Building Technique Development, 2019, 46(19): 38-40.
- [3] 吏林山.武汉青山长江公路大桥19号主墩钻孔桩施工技术[J].桥梁建设,2016,46(3):6-10.
LI Linshan. Construction techniques for bored piles of main pier No. 19 of Qingshan Changjiang River Highway Bridge in Wuhan[J]. Bridge Construction, 2016, 46(3): 6-10.
- [4] 杨联锋,彭志平,孙智杰.汾河特大桥大直径超深旋挖钻孔灌注桩施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):89-93.
YANG Lianfeng, PENG Zhiping, SUN Zhijie. Construction technology of large diameter ultra-deep rotary bored piles at Fehhe Bridge[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(7): 89-93.
- [5] 韩益强.旋挖钻进用牙轮筒钻的结构探讨及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):64-69.
HAN Yiqiang. Structure and application of rotary drilling core barrel with roller bits[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil

- Drilling and Tunneling), 2019, 46(6): 64-69.
- [6] 陈浩文,殷国乐,王艳丽,等.旋挖钻机用气动潜孔锤反循环硬岩钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):68-72.
CHEN Haowen, YIN Guoyue, WANG Yanli, et al. Reverse-circulation hard rock drilling technology with pneumatic DTH hammer for rotary drilling rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(2): 68-72.
- [7] 许明,刘先珊,周泽宏,等.旋挖钻机钻入岩判定与地层识别方法[J].中南大学学报(自然科学版),2017,48(12):3344-3349.
XU Ming, LIU Xianshan, ZHOU Zehong, et al. Formation identification method based on embedding judgment of rotary drilling rig[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2017, 48(12): 3344-3349.
- [8] 贾学强,张继光,罗延严,等.旋挖钻机碎岩计算方式的分析探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):23-27,32.
JIA Xueqiang, ZHANG Jiguang, LUO Yanyan, et al. Discussion about calculation methods of rock fracturing by rotary drill[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(6): 23-27, 32.
- [9] 贾学强,张继光,张泉波.旋挖钻机在急倾斜煤层火区治理中的取煤试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):75-78.
JIA Xueqiang, ZHANG Jiguang, ZHANG Quanbo. Test of coal mining by rotary drilling rig in steeply inclined coal seam[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(1): 75-78.
- [10] 范鹏,贾学强.旋挖钻机溶洞地区施工工法[J].建筑机械,2016(6):89-90.
FAN Peng, JIA Xueqiang. The construction technique of rotary drilling rig in karst area[J]. Construction Machinery, 2016(6): 89-90.
- [11] 贾学强,吴兆成,丁洪亮.旋挖钻机斜孔事故分析与处理[J].建筑机械,2014(12):94-96,100.
JIA Xueqiang, WU Zhaocheng, DING Hongliang. Analysis and process of slant-hole accident in rotary drilling rig[J]. Construction Machinery, 2014(12): 94-96, 100.
- [12] 张永强,于亮.跟管钻进旋挖工艺在万达维多利亚湾项目中的应用[J].工程建设与设计,2019(7):210-212.
ZHANG Yongqiang, YU Liang. The application of rotary drilling with pipe in Wanda Victoria Bay Project[J]. Construction & Design for Project, 2019(7): 210-212.
- [13] 邓林峰,阙显阳,周浩文,等.超长旋挖钻孔灌注桩施工技术[J].建筑技术,2019,50(10):1156-1159.
DENG Linfeng, QUE Xianyang, ZHOU Haowen. Construction technique of super-long rotary drilling and filling pile[J]. Architecture Technology, 2019, 50(10): 1156-1159.
- [14] 周外男,缪玉卢.坚硬岩石地层钻孔桩旋挖钻机成孔技术[J].世界桥梁,2019,47(4):27-31.
ZHOU Wainan, MIAO Yulu. Using rotary drilling rigs to make holes for bored piles in hard rock strata[J]. World Bridge, 2019, 47(4): 27-31.

(编辑 周红军)