

旋挖钻斗切削结构的优化改进及其应用

黄玉文, 冯美贵, 翁 炜, 徐军军

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:根据旋挖钻斗钻进机理及其切削结构研究与优化分析, 针对旋挖钻进现场施工过程中存在的钻进效率低, 先导定心尖导向性差、易打滑晃动, 渣土不能有效地收集到钻斗内, 边齿座易磨损、边齿尖易断裂, 孔底和孔壁沉渣较多, 引土板结构形式不满足工程要求等问题, 优化改进了先导定心尖和引土板的结构设计, 以及切削齿的布齿方式、数量和入岩角度等。优化改进后, 提高了钻进效率(提高 80%), 减轻了工人劳动强度, 延长了钻斗寿命, 降低了施工成本, 为今后旋挖钻斗的结构设计及其应用提供了理论依据与经验借鉴。

关键词:旋挖钻斗; 切削结构; 钻进机理; 优化改进; 钻进效率

中图分类号: P634.4⁺1; TU473.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)07-0066-04

Optimized Improvement and Application of the Cutting Structure Design for the Rotary Drilling Bucket/HUANG Yuwen, FENG Mei-gui, WENG Wei, XU Jun-jun (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the research and optimization analysis on the drilling mechanism and cutting structure of the rotary drilling bucket, according to the problems in the rotary drilling process, such as low drilling efficiency; poor guidance of centering tip and being easy to slip; ineffective residual soil collection; outer edge teeth holder wearing and the tips of outer edge teeth being easy to break; much sediment at the hole bottom and wall and the structure type of the soil leading plates can not meet the engineering requirements, the structural design of centering tip and soil leading plates are optimized and improved, as well as the cutting teeth distribution, teeth quantity and the rock cracking angle. By the optimized improvement, the drilling efficiency is improved by 80%. In addition, the labor intensity is alleviated, the bit service life is extended and the construction cost is reduced, the practice provides the theoretical basis and experience for the structure design and application of the rotary drilling bucket in the future.

Key words: rotary drilling bucket; cutting structure; drilling mechanism; optimized improvement; drilling efficiency

1 问题的提出

旋挖钻机灌注桩施工是近年来迅速发展起来的先进桩基施工工艺, 该成孔工艺技术已被广泛地应用于桩基工程施工中, 具有钻进效率高、噪声低、环境污染小、成孔质量好、机械化程度高、劳动强度低等诸多优点, 与之配套的旋挖钻具也得到了普遍应用。随着钻进地层的复杂程度不断增加, 对旋挖钻具综合性能的要求也不断提高, 钻进施工过程中出现的问题也随之增多, 严重制约和影响了钻进效率和施工成本。旋挖钻斗是旋挖钻机施工中应用最为广泛的钻具之一, 在不同地层特性条件下钻进时, 旋挖钻斗的先导定心尖与切削齿的布齿方式、数量和入岩角度的设计合理与否直接影响施工进度和钻进

成本。

浙江义乌某桩基工程, 设计桩径 1 m, 桩孔深度约 10 m, 要求桩孔孔底为凹弧面桩形。钻进地层为中风化泥岩地层, 采用的钻具为 $\varnothing 1000$ mm 双底截齿捞砂钻斗, 切削齿为头部镶焊有钨钴硬质合金的截齿。其底部的结构形式如图 1 所示。

钻进过程中发现其存在如下问题:

(1) 由四套切削齿焊接组成的先导定心尖定心导向性差, 钻进时易打滑晃动, 影响施工进度和钻进效率;

(2) 先导定心尖与引土板之间的间隙内渣土不能有效收集到钻斗内;

(3) 边齿齿座易磨损, 边齿齿尖易断裂;

收稿日期: 2018-01-16; 修回日期: 2018-04-03

作者简介: 黄玉文, 男, 汉族, 1968 年生, 教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事大口径旋挖钻具及地质钻探器具、工艺的研发工作, 北京市海淀区学院路 29 号探工楼 406 室, huangyuwen1968@163.com。

通信作者: 冯美贵, 女, 汉族, 1981 年生, 高级工程师, 机械工程专业, 从事大口径旋挖钻具和冲洗液固控设备的研发工作, 北京市海淀区学院路 29 号探工楼 406 室, rosy03250186@126.com。

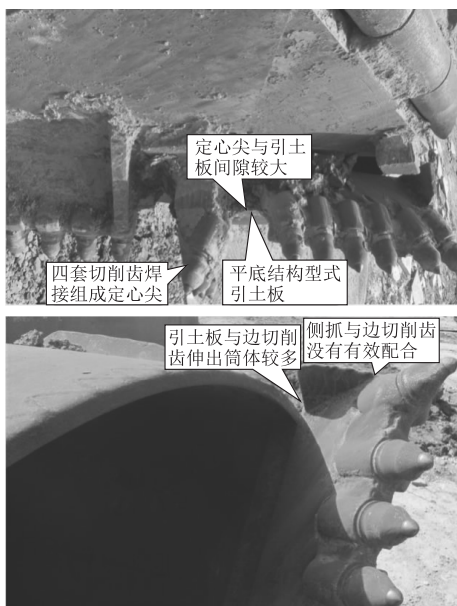


图 1 改进前钻斗底部的结构形式

(4) 齿数过多, 钻进效率低;

(5) 孔底和孔壁沉渣较多, 钻进效率相对较低, 钻速仅为 16 m/h;

(6) 平底结构形式的引土板, 满足不了工程要求, 需人工下井开挖凹弧面桩形并清孔, 加大了工人的劳动强度。

为此, 我们开展了旋挖钻斗切削结构的研究和优化设计工作。

2 旋挖钻斗钻进机理研究

根据钻进施工现场存在的问题, 开展了旋挖钻斗钻进机理的研究。旋挖钻斗的主要参数有钻斗直径、钻斗高度、底板层数、底板进土口数、进土口开口位置及其角度以及先导定心尖、引土板、切削齿结构、形式、角度及数量。其中先导定心尖及其上切削齿的数量和角度、引土板上切削齿的布齿方式及数量和入岩角度是旋挖钻斗的关键参数, 直接关系到成孔钻进效率及切削齿的磨损消耗程度^[1-5]。

从岩石破碎机理可知^[6-7], 自由面有利于岩石破碎。钻进过程中, 旋挖钻斗在钻压作用下, 位于底部的先导定心尖在孔底中心“掏槽”^[8-10], 形成破碎自由面; 位于底板引土板上的切削齿跟进, 钻进中切削齿形成的轨迹线在孔底的投影是一组同心圆。岩屑和土、石等钻渣沿引土板进入筒体, 随后被提钻带出孔。

3 旋挖钻斗切削结构研究与优化分析

根据钻进施工现场存在的问题, 开展了旋挖钻斗切削结构的研究。根据钻进地层特性, 对先导定心尖的结构形式、切削齿数量、布齿方式^[11]和入岩角度^[12]进行结构优化设计, 有利于高效切削岩石, 快速形成自由面, 并能及时将产生的钻渣顺利导入钻斗内。

3.1 先导定心尖结构形式

常用先导定心尖的结构形式如下: 板式三角形或五边形定心尖; 旋转式鱼尾定心尖; 四分头式定心尖; 多边形多孔式定心尖; 拼焊式定心尖(齿数根据情况而定, 可有 2~8 套; 外形也有一字形和 S 形等各种不同的形状)。

3.2 切削齿数量

根据钻进地层特性, 合理交叉布置引土板上的切削齿, 以使切削齿间创造互补自由面。而从齿与岩石自身力学、强度及相互间作用力等方面考虑, 齿的数量应相对合理^[13], 以避免出现下列情况: (1) 齿数过少时, 单个齿上所承受的钻压过大, 导致齿折断; 齿间距过大, 所产生的自由面不能互补, 切削过程中遗留的岩脊过宽, 不能实现高效碎岩; 每个齿所产生的体积破碎穴彼此不相连, 不能实现全断面碎岩; (2) 齿数过多时, 单位比压下降, 碎岩能力下降, 导致钻进效率下降。

3.3 切削齿布齿方式

布置切削齿时尤其要注意边齿的焊接位置、入岩角度、自身强度、重复系数^[14], 这是因为: (1) 边齿处于钻斗切削单元的最外层, 其不但切削下方的岩石, 并且长期与孔壁接触、保持孔径, 所处环境最为恶劣, 磨损消耗最大, 因此有必要对其焊接位置及角度进行优化设计; (2) 边齿所处回转半径较大, 回转阻力臂较大, 孔壁阻力较大, 回转线速度也较大, 所承受的载荷、扭矩相应也是最大的, 因此有必要注意其自身强度; (3) 综合考虑上述两方面因素, 同时为保证切削齿的同步磨损, 需考虑其重复系数; 一般采用对称布置 2 套边齿、其他齿交错布置、齿间距从内向外逐渐减小的方式进行设计、制造, 从而提高碎岩效果和钻进效率。

3.4 切削齿入岩角度

钻进过程中旋挖钻机输出的加压力和扭矩集中在钻斗底部的先导定心尖和切削齿上, 由此产生钻斗的回转阻力主要来源于先导定心尖和切削齿, 因

此可根据地层特性设计先导定心尖、切削齿的上述各种参数,以降低回转阻力,实现高效、低耗钻进。

钻进过程中切削齿前端的齿刃对地层进行切削,切削齿角度的大小影响齿尖切削地层锋利程度:小角度增加接触面,降低比压,降低切入力,降低切削阻力;大角度减少接触面,提升比压,提升切入力,但增加切削阻力,同时钻齿易折断。

大量试验结果表明:钻进硬度较小的第四系地层、强风化层和少冰冻土层等地层时,切削齿刃后角选取 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$;钻进比较硬的泥岩、砂岩、凝灰岩、灰岩和花岗岩等地层时,切削齿刃后角选取 $45^{\circ}\sim 65^{\circ}$;根据钻进地层特性对切削齿的角度进行及时调整和变化^[15],对提高钻进速度、延长钻斗寿命和降低使用成本等,具有重要意义。

4 旋挖钻斗切削结构优化改进

针对旋挖钻进过程中存在的上述问题,并根据旋挖钻斗钻进机理,北京探矿工程研究所派出相关技术人员在现场对该旋挖钻斗的结构形式进行了如下6个方面的优化改进:

(1)将由四套切削齿拼焊组成的先导定心尖优化为由二套切削齿拼焊组成的先导定心尖,减小先导定心尖宽度,并将先导定心尖截齿角度由原来的较小角度加大到 65° ,使得先导定心尖与岩石间由原来的面接触变为线接触,减少了接触面积,降低了回转阻力;同时,将其高度调整到比引土板上最高点处截齿高出50 mm,以产生提前“掏槽”作用。

(2)原来的先导定心尖与引土板间隙较大,导致钻进过程中不能将间隙内渣土有效收集并携带到钻斗内;改进后将先导定心尖与引土板之间改为平滑过渡,消除了间隙,使得钻渣能够快速进入钻斗内。

(3)改进前引土板与边齿伸出钻斗筒体外径较多,切削阻力过大,导致边齿齿座易磨损,边齿齿尖易断裂;改进后缩小了引土板与边齿伸出钻斗筒体外径的尺寸。

(4)改进前切削齿数量为13套,单位比压小,碎岩能力低;改进后切削齿数量为12套,减少了齿的数量,有效增加了单位比压,提高了钻进效率。

(5)改进前侧爪较小,无法与边齿有效配合,导致钻渣在旋挖钻进过程中受离心力作用而被挤压在孔壁处打转,孔底和孔壁沉渣较多;改进后将侧爪轧弧,并适当加大侧爪,使其包覆边齿齿座。

(6)根据短螺旋钻头钻进机理,将引土板平底结构形式优化改进为锥底结构形式,钻进时使得孔底直接钻成凹弧面桩形,无需人工清孔和开挖,既可提高钻进效率,又可降低工人的劳动强度。

优化改进后钻斗底部的三维示意图及其结构形式分别如图2和图3所示。

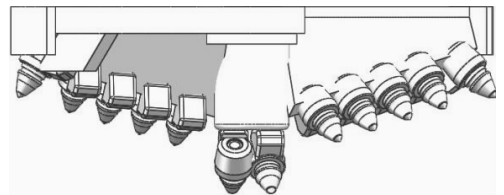
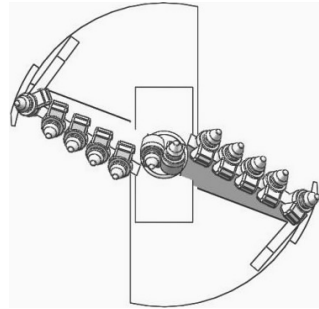


图2 优化改进后钻斗底部的三维示意图



图3 改进后钻斗底部的结构形式

5 优化改进后应用效果

优化改进后的旋挖钻斗,应用效果如下:

(1)先导定心尖导向性能好,钻进平稳,增强了携土能力;

(2)改进后钻速为28.8 m/h,钻进效率提高了80%;

(3)降低了边齿齿座的磨损程度,避免了边齿齿尖断裂现象,能有效将挤压在孔壁处的钻渣收集到钻斗内;

(4)钻进时孔底成凹弧面桩形,无需人工清孔和开挖桩底。

上述改进,不仅提高了钻进速度、延长了钻斗寿命,降低了施工成本,有效减轻了工人的劳动强度,

并赢得了施工单位和业主的一致好评。

6 结语

针对旋挖钻斗现场施工过程中存在的问题,开展了旋挖钻斗钻进机理及切削结构形式研究,并在现场对该旋挖钻斗的结构形式进行了优化改进,改进后效果良好,为今后旋挖钻斗的结构设计及其应用提供了理论依据与经验借鉴。

参考文献:

- [1] 冯美贵,黄玉文,翁炜,等.桩基施工用旋挖钻具切削具的研究[J].地质装备,2010,11(5):59-61.
- [2] 贾绪富.松软土层中灌注桩用短螺旋钻头的设计[J].地质与勘探,1992,28(6):62-64.
- [3] 李大佛,雷艳,许少宁.月球钻探取心特种钻头研制与试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):1-6.
- [4] 刘南昌.旋挖钻进施工钻具的选用[J].地质装备,2005,6(3):5-6.
- [5] 闫铁,李玮,毕雪亮,等.旋转钻井中岩石破碎能耗的分形分析[J].岩石力学与工程学报,2008,27(S2):3649-3654.

- [6] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2001:58-73.
- [7] 赵伏军,李夕兵,冯涛,等.动静载荷耦合作用下岩石破碎理论分析及试验研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(8):1315-1320.
- [8] 胡继良,史新慧,黄玉文,等.短螺旋钻头在旋挖钻施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(1):40-41.
- [9] 罗春雷,赵伟丽,丁吉,等.短螺旋钻头入岩最优切削厚度的理论与实验研究[J].机械科学与技术,2012,31(11):1726-1730.
- [10] 罗春雷,丁吉,宋长春,等.基于随机过程理论短螺旋钻头载荷的数学模型[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(12):4701-4706.
- [11] 谭松成,段隆臣,叶雪峰,等.硬岩钻进用石油钻头研究现状及发展趋势[J].地质与勘探,2013,49(2):373-378.
- [12] 丁严昊.螺旋型取芯钻头岩石钻进负载特性研究[D].黑龙江哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015:45-47.
- [13] 刘睦峰,彭振斌,王建军.复杂岩层大直径嵌岩桩钻进技术[J].地质与勘探,2009,42(5):621-626.
- [14] 罗超,王镇泉,蔡镜仑.PDC 钻头切削齿受力随布齿密度变化关系研究[J].地质与勘探,1997,33(4):60-63.
- [15] 方雪松.适用于特殊复杂层的爪子钻具[J].地质与勘探,1990,(3):60.

(上接第 55 页)

要求,导致在施工过程中较合同和技术要求额外增加了不少工作量。

(3)E5 分支井的成功施工有效地控制了成本,也为其他分支孔在施工中如何保证泥浆脉冲信号的稳定传输,如何解决钻井过程中钻具所受的摩阻大、扭矩大问题提供了经验,增强了防治效果,在煤矿注浆防水治水工作中具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王宗友,乔生贵,陈刚,等.大雪山煤矿有线随钻定向钻进技术应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):4-8.
- [2] 张文英,刘卫东,赵燕来,等.若尔盖铀矿区复杂易斜地层定向分支钻孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):22-24.
- [3] 吴小建.螺杆钻定向钻探技术在煤层气钻井中的应用[J].探矿

- 工程(岩土钻掘工程),2006,33(11):48-49,51.
- [4] 刘敏,刘云山,段元清,等.江西武山铜矿区螺杆钻定向钻探技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):34-38,43.
- [5] 王四一.煤矿隐蔽致灾地质因素井下探查用随钻测量系统测试研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):68-71.
- [6] 程红文.定向钻进及随钻测量技术在充填孔施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):11-16.
- [7] 曹主军.随钻测量定向钻进技术在矿井顶板水患治理中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):23-27.
- [8] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下水平定向钻进技术与装备的新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):12-16.
- [9] 郭益辉,王斌,桑鹏.随钻测量钻进技术在煤矿井下瓦斯抽放中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(1):32-34.
- [10] 王清江,毛建华,曾明昌,等.定向井井眼轨迹预测与控制技术[J].钻采工艺,2008,31(4):150-152.
- [11] 武波.TK423 深井套管开窗侧钻技术[J].石油钻探技术,2001,29(6):22-23.