

# 新型集土式扩底钻具的研制与试验应用

徐军军, 冯美贵, 黄玉文, 杨 鹏, 王玉超

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:**针对现有机械式扩底钻具在旋挖钻进施工过程中存在扩孔与取土、清孔分离、工序复杂、孔内沉渣难以清理干净、施工效率低等问题,研制了新型集土式扩底钻具。重点介绍了扩底桩设计理论,集土扩底钻具结构设计,关键零部件有限元数值分析和优化改进,以及样机试制和现场试验。试验结果表明:新型集土式扩底钻具集扩孔、集土功能于一体,减少了工艺步骤,提高了工作效率,满足了旋挖钻进扩底桩的施工需求。

**关键词:**机械式扩底钻具;扩底桩;扩孔;取土;清孔;集土式扩底钻具;旋挖钻进

**中图分类号:**P634.4<sup>+</sup>2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)02-0041-05

**Development and Application of New Type of Soil Collecting Bottom Expanding Drilling Tool/XU Jun-jun, FENG Mei-gui, HUANG Yu-wen, YANG Peng, WANG Yu-chao** (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In view of the problems of existing mechanical bottom expanding drilling tool in rotary drilling construction, such as separation of hole expanding from soil taking and cleaning, complicated processes, difficult sediment cleaning and low construction efficiency, a new type of soil collecting bottom expanding drilling tool is developed. This paper focuses on the design theory of underreamed pile, the structure design of the soil collecting bottom expanding drilling tool, the finite element numerical analysis and optimization improvement of the key components and the prototype trial manufacture as well as field tests. The test results show that this new type of soil collecting bottom expanding drilling tool integrates functions of reaming and soil collecting to reduce the technological processes and improve working efficiency, which meets the construction requirements of rotary drilling for underreamed pile.

**Key words:** mechanical bottom expanding drilling tool; underreamed pile; reaming; soil taking; hole cleaning; soil collecting bottom expanding drilling tool; rotary drilling

## 0 引言

钻孔灌注扩底桩是在直桩基础上对施工工法进行优化改进和完善而形成的一种新型钻孔灌注桩,旋挖扩底钻进是利用旋挖钻机对桩孔进行扩底钻进。一般钻孔扩底灌注桩是把按等直径钻孔方法形成的桩孔钻进到预定的深度后,换上扩底钻头,撑开钻头的扩孔刀刃使之旋转切削地层以形成扩大孔底,待成孔后放入钢筋笼,灌注混凝土形成扩底桩以获得较大承载能力<sup>[1-2]</sup>。扩底桩的底部直径一般为桩身直径的 1.5~2 倍,因此扩底桩的桩端承载力是普通直型桩的 2~4 倍。在基础工程施工中,扩底桩与普通直桩相比具有承载能力强、振动小、噪声低、工期短等优点,因此该桩型应用范围越来越广泛<sup>[3]</sup>。

目前国内配套扩底桩施工所用的机械式扩底钻具还存在以下问题。

(1)扩孔与取土、清孔工序分离,机械式扩底钻具扩孔作业完成后,还需用如双底捞砂钻头、清孔钻头或空气反循环钻具等多种专业设备,反复交替作业完成取土、清孔等其它专门工序,工序较繁琐且复杂。

(2)现有施工技术条件下,多种工序需要更换不同的施工设备交替作业,从而导致孔壁不稳定、孔底易坍塌、桩孔成形差、孔内沉渣难以清理干净、施工效率低等一系列问题。

针对于此类常见问题,我所研制了一种钻进成孔过程中不需要更换钻头,集钻孔、扩孔、取土多项功能于一体的新型集土式扩底钻具,简化了施工工序,且具有孔壁稳定、成孔速度快、施工效率高、安全可靠等优势,满足钻孔扩底灌注桩施工要求<sup>[4-6]</sup>。

收稿日期:2017-07-14; 修回日期:2018-01-11

基金项目:科技部科研院所专项资金项目“集土式智能扩底钻进技术研究”(编号:2010EG130251)

作者简介:徐军军,男,汉族,1985年生,硕士,从事探矿工程、钻探工艺及设备方面研究工作,北京市海淀区学院路29号探工楼407室,xujj@bjiee.com.cn。

## 1 扩底桩设计理论

根据扩底桩的力学性能和结构形式,扩底桩的关键技术参数主要有扩底角 $\theta$ 、桩身直径 $d$ 、最大扩底直径 $D$ 、最大直径段高度 $h_b$ 、扩底斜边高度 $h_c$ 、扩底高度 $h$ 。扩底桩桩形图如图1所示。

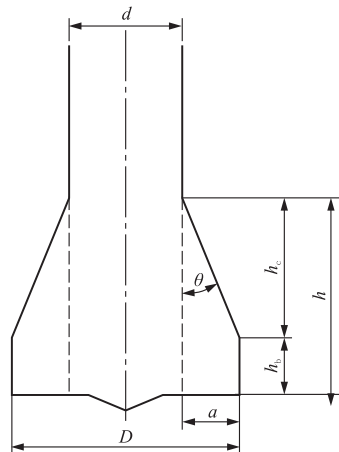


图1 扩底桩桩形图

(1)扩底角、扩底高度与扩底、桩身直径存在经验公式: $h \geq 2(D-d)$ ;对于土层等松散地层,扩底角 $\theta$ 为 $12^\circ \sim 15^\circ$ ,对于岩石地层,扩底角 $\theta$ 为 $25^\circ \sim 30^\circ$ 。

(2)扩底端侧面的斜率:应根据实际成孔及土体自身条件确定, $a/h_c$ 可取 $1/4 \sim 1/2$ ,砂土可取 $1/4$ ,粉土、粘性土可取 $1/3 \sim 1/2$ ,其中 $a = \frac{1}{2}(D-d)$ 。

(3)扩大倍数:当持力层承载力低于其上部综合载荷时,可采用扩底的型式来提高单桩承载力。扩底端直径与桩身直径比 $D/d$ ,应根据桩端及桩侧岩土物理力学性质和桩端承载力要求确定,挖孔桩的 $D/d$ 不应大于3,钻孔桩的 $D/d$ 不应大于2.5。

(4)扩底端底面形状:为了避免在垂直荷载作用下,因桩底面的剪应力集中而引起土体的剪切破坏,扩底钻头在扩张成孔时,应保持最大扩张下切面与桩底中心底面形成的高差,使成孔后呈锅底形,有利于清孔和提高端承力。扩底后 $h_b = (0.15 \sim 0.20)D$ 。 $h_b$ 根据 $d$ 来确定,一般 $200 \text{ mm} \leq h_b \leq 400 \text{ mm}$ <sup>[7-10]</sup>。

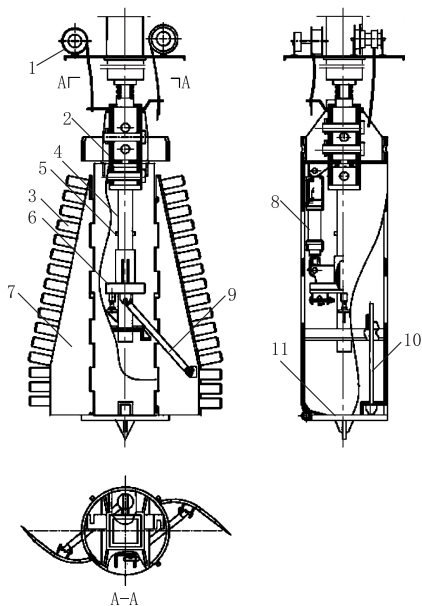
## 2 集土式扩底钻具的结构设计和优化改进

### 2.1 结构设计

集土式扩底钻具主要由液压系统、控制系统、机械系统组成,其中液压系统主要为扩底钻具提供动

力,可借助钻机自带液压泵站来提供,也可采用独立液压泵站;控制系统负责控制钻具开合并检测相关参数;钻具的机械系统负责钻具扩底、集土等动作的实施。

其中钻具本体主要包括传动机构、导向机构、滑动机构、限位机构、矛头机构、钻翼本体机构、连杆机构、集土机构、同步绞车装置、内置位移传感器液压油缸、切削具等零部件,其结构示意图如图2所示。



1—同步绞车装置;2—传动机构;3—切削具;4—导向机构;5—限位机构;6—滑动机构;7—钻翼本体机构;8—内置位移传感器液压油缸;9—连杆机构;10—矛头机构;11—集土机构

图2 集土式扩底钻具的二维结构示意图

(1)传动机构是连接旋挖钻机方头和传递扭矩的关键部件之一,主要由连接法兰、扶正器、筋板和液压油缸上支架组成。

(2)导向机构主要起导向作用,引导滑动机构沿滑动轴上下移动,主要由连接方头、导向轴和限位框等组成。连接方头与传动机构的连接法兰通过法兰销轴连接,上下限位框限制滑动机构行程。

(3)滑动机构通过内置位移传感器液压油缸的伸缩带动旋转头沿导向机构运动,主要由液压油缸下吊耳和旋转头组成。

(4)限位机构主要根据扩底钻具的扩底直径,限制滑动机构上下运动的极限位置,限制扩底钻具的最小和最大收翼状态。

(5)矛头机构主要通过外力作用下矛头杆在矛头座内转动,开启集土机构,将钻具内渣土卸掉。矛

头杆在复位弹簧的作用下,关闭集土机构。

(6) 钻翼本体机构主要由固定本体、转轴、推轴销和可转动钻翼组成。

(7) 连杆机构主要连接钻翼本体机构和滑动机构,将液压油缸作用力传递给钻翼本体机构,实现可转动钻翼的开合。

(8) 集土机构主要收集钻进过程中的渣土,实现清孔作用。

(9) 同步绞车装置主要实现液压管线在回转的过程中与钻具实时同步。

(10) 内置位移传感器液压油缸是液压系统的执行元件,通过内置位移传感器可实时监测液压油缸的位移行程,实现对两个液压油缸的同步控制。

(11) 切削具在钻压和扭矩作用下切入地层并以刮挤、剪切方式破碎地层。

## 2.2 关键零部件强度校核和优化改进

钻具整体结构及其零部件强度对钻具功能和寿命至关重要,对钻孔施工安全也会产生极大影响。本文中利用三维软件对集土式扩底钻具进行了三维实体建模,并对钻具整体结构以及推轴、推轴销和上转轴等关键零部件进行了三维有限元计算机模拟仿真、强度校核分析(如图 3~6 所示),并依此进行了优化改进,改进后的钻具整体结构及其零部件强度均能满足中风化岩层扩底钻进要求,并为施工现场提供安全保障。

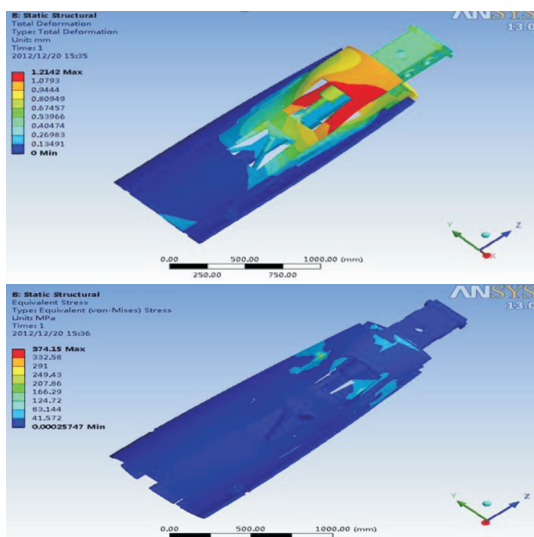


图 3 钻具整体变形和整体应力图

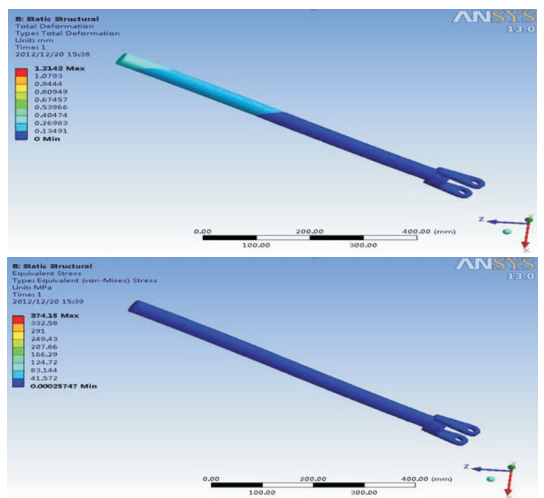


图 4 推轴变形和应力图

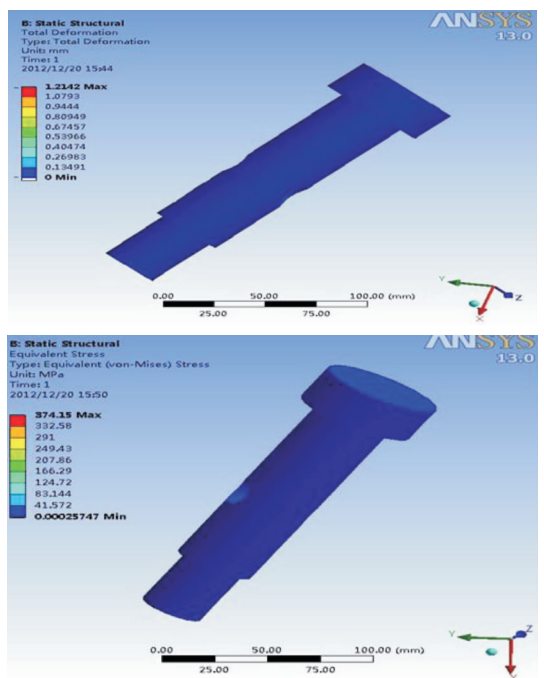


图 5 推轴销变形和应力图

## 3 集土式扩底钻具的样机试制

通过以上集土式扩底钻具的结构设计和有限元数值模拟分析,以及对集土式扩底钻具生产工艺的研究,完成了一套 TGK800/1600 型集土式扩底钻具样机试制。在生产车间进行了初步的动作测试,动作流畅不卡顿,钻具整体运转正常,达到了预期设计要求,钻具收翼和扩翼状态如图 7 所示。

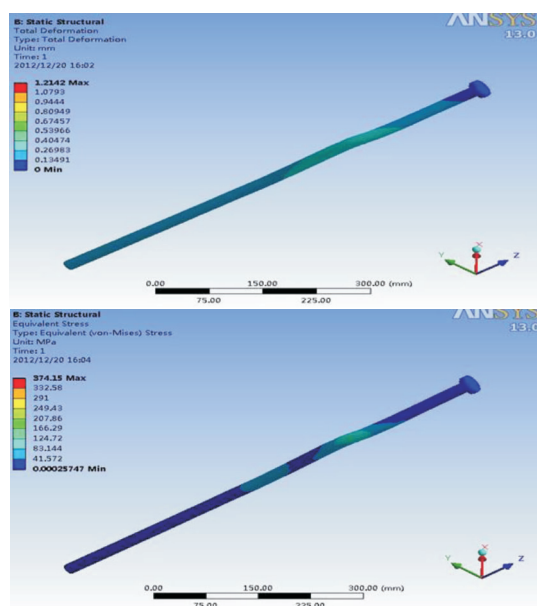


图6 上转轴变形和应力图



图7 TGK800/1600型集土式扩底钻具收翼和扩翼状态

#### 4 集土式扩底钻具的现场试验和效果

在北京市房山区京周路某施工工地,完成了TGK800/1600型集土式扩底钻具的现场整机组装调试以及现场钻进试验。

试验钻机为ZR250A型旋挖钻机,钻机参数如下:最大扭矩为 $250\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,动力头转速为 $6\sim 24\text{ r/min}$ ,最大钻深为 $70\text{ m}$ ,钻杆直径为 $470\text{ mm}$ ,钻杆方头为 $200\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 。

试验地层为土层,试验钻具的切削具为耐磨斗齿。试验现场、钻具扩翼状态和收翼状态如图8~10所示。

根据地质勘察报告显示,场地自上而下地层为:杂填土,粉质粘性土,砾质粘性土,全风化、强风化、中风化、微风化花岗岩。桩基础设计为钻孔扩底灌

注桩,全部采用旋挖钻机施工;桩基孔直径 $800\text{ mm}$ ,扩孔后直径 $1600\text{ mm}$ ;桩长 $< 21\text{ m}$ ;试验桩孔数量:3根;试验孔位:距离实际桩基孔位约 $9\text{ m}$ ,成孔采用干法成孔工艺。



图8 试验现场



图9 钻具扩翼状态



图10 钻具收翼状态

现场试验结果表明:

(1)钻具整体运转稳定,扩收翼动作正常、无卡钻,桩孔无坍塌现象;

(2)新型集土式扩底钻具集扩孔、集土功能于一体,较传统机械式扩底钻具优势明显,边钻进边扩边集土,无需反复扩底-取土-清孔,实时清理沉渣,孔底沉渣尺寸小于 $15\text{ mm}$ ,无需重复清孔和专门检测,减少了施工工艺步骤,工作效率提高了约 $30\%$ ;

(3)新型集土式扩底钻具设计合理,达到了预期设计目的;

(4)满足了旋挖钻进扩底桩的施工、设计及规范



要求。

## 5 结论

新型集土式扩底钻具可将扩底过程中产生的岩屑收集到钻具内部,集土式扩底钻具同时具备扩孔和集土两种功能,与普通机械式扩底钻具相比,具有较强的携土能力,避免了孔内沉渣的产生,扩孔质量好、扩孔效率高,提高了扩底质量和工作效率,减轻了工人的劳动强度。同时扩底桩扩大了桩端受力面积,大幅提高了桩基垂直承载力,使得桩身的材料强度和持力层的承载能力得到充分发挥,满足了单柱单桩结构要求,节约了工程造价,避免无谓消耗,节约资源,符合节能环保的要求。

## 参考文献:

- [1] 段新胜,等.桩基工程(第三版)[M].北京:中国地质大学出版社,1994.
- [2] 黄成富.可变径扩底灌注桩施工的新钻具——YGK 系列大口径扩底钻具[J].地质与勘探,1989,(5).
- [3] 宋秋锋,靳益民,朱彩华,等.AQK 嵌岩扩底钻头的结构特点[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):37-38,43.
- [4] 许刘万.基础桩施工扩底钻头的设计种类及用途[J].探矿工程,2003,(1):35-37.
- [5] 倪晋贵,孙健.旋挖桩斗式集渣两翼钻头扩底成孔施工技术[J].安徽地质,2014,(4):291-293.

- [6] 梁尚英.钻孔扩底灌注桩扩底技术分析[J].岩土工程界,2002,(6):60-61.
- [7] 刘三意.嵌岩扩底灌注桩及 MRR 型基岩扩底钻头[J].探矿工程,1996,(3):10-11,27.
- [8] 刘三意,刘家荣,李洪,等.扩底钻头的研究与应用[J].探矿工程,1997,(S1):70-72.
- [9] 王继忠,张新华.大直径嵌岩钻孔扩底桩钻头及施工[J].西部探矿工程,2003,(4):51-52.
- [10] 陈先武.介绍几种扩底钻头[J].勘察科学技术,1988,(5):61-63.
- [11] 钱自卫,王海,时伟.扩底孔的创新应用及新型扩底钻头设计初探[J].中国科技信息,2008,(12):143-144,147.
- [12] 周治国,唐孟雄,谢永健.嵌岩旋挖扩底灌注桩施工技术[J].广州建筑,2010,(6):6-9.
- [13] 陈霄.浅谈旋挖扩底钻孔灌注桩施工应用[J].福建建筑,2015,(12):49-51,90.
- [14] 朱永宁.Φ1200/Φ1800 及 Φ1600/Φ2200 基桩扩底钻头的改制与应用[J].西部探矿工程,1994,(4):104-105.
- [15] 刘厚菊,陈伟军.扩底孔桩施工钻机钻头的改造[J].工程机械与维修,2006,(6):98-99.
- [16] 卢南兴,田桂青,胡亚勃,等.旋挖扩底成孔灌注桩的施工要点[J].建筑施工,2016,(12):1652-1653.
- [17] 徐继忠,胡均升.旋挖扩底桩在软岩地层中的应用研究[J].江西建材,2017,(2):120,123.
- [18] 许庆贵.扩底灌注桩在湿陷性黄土地区的应用[J].吉林电力,2017,(1):21-23.
- [19] 范磊,陶连金,黄美群.全液压可视旋挖扩底灌注桩抗压承载性状及影响因素分析[J].工业建筑,2017,(4):99-105.
- [20] 李鹏.大直径扩底桩在岩石地基中的应用设计[J].四川建筑,2016,(3):181-182,185.

(上接第 32 页)

## 4 结论

(1)液力冲击工具可有效降低钻进过程中的扭矩波动,有助于保护钻头。

(2)液力冲击工具可有效降低钻进过程中定向井工具的震动,减少钻头在井底的卡滑现象。

(3)液力冲击工具配合旋转导向工具使用,对工具的造斜率影响较低,能够满足定向井轨迹控制要求。

## 参考文献:

- [1] 宋建伟,何世明,龙平,等.国内深井钻井提速技术难点分析及对策[J].西部探矿工程,2013,12:73-77.
- [2] 王宏民,邱康,姜韡,等.控压钻井技术在东海深部低渗地层中的应用[J].海洋石油,2016,36(2):81-84.
- [3] 张海山.东海深井高温高压低孔渗储层钻井技术研究与应用

[J].海洋石油,2014,34(2):88-92.

- [4] 付加胜,李根生,田守增,等.液动冲击钻井技术发展与应用现状[J].石油机械,2014,42(6):1-6.
- [5] 崔龙连,汪海阔,张富成,等.频率可调脉冲提速工具深井提速现场试验研究[J].石油机械,2013,41(12):34-37.
- [6] 周燕,安庆宝,蔡文军,等.SLTIT 型扭转冲击钻井提速工具[J].石油机械,2012,40(2):15-17.
- [7] 和鹏飞,孔志刚. Power Drive Xceed 指向式旋转导向系统在渤海某油田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):45-48.
- [8] 刘鹏飞,和鹏飞,李凡,等. Power Drive Vortex 钻具系统配套 PDC 钻头优化设计[J].长江大学学报(自科版),2014,(16):41-42.
- [9] 刘鹏飞,和鹏飞,李凡,等. Power Drive Archer 型旋转导向系统在绥中油田应用[J].石油矿场机械,2014,43(6):65-68.
- [10] 和鹏飞.渤海潜山油藏钻井配套技术的研究与应用[J].海洋工程装备与技术,2017,4(1):19-24.
- [11] 和鹏飞.海上低成本侧钻调整井的可行性研究与实施[J].海洋工程装备与技术,2016,3(4):212-216.
- [12] 和鹏飞.大位移井技术在渤海油田的应用及发展[J].海洋工程装备与技术,2016,3(6):361-366.