

# 全回转套管钻机和全套管施工工艺的研究

宋志彬<sup>1,2</sup>, 冯起赠<sup>2</sup>, 和国磊<sup>2</sup>, 许本冲<sup>2</sup>, 刘晓林<sup>2</sup>, 刘家誉<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 简述了全回转套管钻机的国内外研究现状和应用领域。主要介绍了 QHZ-2000 型全回转套管钻机的设计结构、技术参数、关键技术。分析了全回转套管柱、冲抓斗、清障钻具的结构原理和应用特点。总结了全回转套管灌注桩、全套管清障和全套管拔桩的施工流程、机理和适用范围。研究填补了国内自主研发全回转套管钻机的空白, 是一种适合在城市施工的绿色环保、广谱安全的无循环桩基施工新设备和新技术。

**关键词:** 全回转套管钻机; 全套管施工; 套管钻具; 全套管清障; 全套管拔桩

**中图分类号:** TU67; P634.3<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)09-0029-08

**Research on Casing Rotator and Full Casing Construction Technology/SONG Zhi-bin<sup>1,2</sup>, FENG Qi-zeng<sup>2</sup>, HE Guo-lei<sup>2</sup>, XU Ben-chong<sup>2</sup>, LIU Xiao-lin<sup>2</sup>, LIU Jia-yu<sup>2</sup>** (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** The paper summarized the research actuality and application fields both in China and abroad. The design structure, specification and key techniques of QHZ-2000 casing rotator are elaborated. The paper analyzes the structure principle and the application characteristics of casing string, hammer grab and drilling tools for underground obstacles removal; and also summarizes the construction process, mechanism and applicable scope of full casing cast-in-place pile, underground obstacles removal and pile extraction in full casing. This study fills the gap of independent research and development of casing rotator in China; it is environmental, universal and safe piling equipment and a new foundation drilling method with no mud used in urban construction and foundation works.

**Key words:** casing rotator; full casing construction; casing tools; underground obstacles removal in full casing; pile extraction in full casing

## 1 概述

全套管设备是城市建设领域大口径套管驱动的岩土钻掘设备, 关键设备为搓管机和全回转套管钻机两类。搓管机和贝诺特工法于 20 世纪 50 年代起源于法国, 发展完善于日本、德国和意大利, 80 年代后德、意以附着于履带吊机的附着式搓管机为其特色并延续至今。目前国外生产附着式搓管机的知名厂家主要有德国的宝峨、Leffer 公司, 意大利的土力、卡沙特兰地等公司。

全回转套管钻机(简称全回转钻机)是日本 20 世纪 80 年代中期在整体式搓管机的基础上开发出的新型全套管施工设备, 该设备主要针对城市地下障碍物(包括旧的混凝土预制桩、灌注桩、钢管桩、钢板桩等)的拔除和置换、城市和沿海硬岩钻凿、复杂破碎的填石填海地层、沿海滩涂和地下水丰富的砂层和卵砾石层等地干式钻凿成孔。全回转钻机在日本已形成  $\varnothing 1000 \sim 3000$  mm 的系列产品, 在日本本

土广泛应用的过程中又派生了许多套管工法, 技术多样灵活, 机械化程度高。由于日本岛国地质条件的复杂性, 城市发展空间的局限性推动了大型岩土钻掘机械的发展, 日本全回转钻机的技术水平居世界领先地位。目前国外全回转钻机的代表厂家有日本的日本车辆、三和机工、日立建机和德国的 Leffer 公司。

目前我国全回转套管钻机的自主研发尚属空白, 国内自 20 世纪 90 年代开始从日本引进该设备用于桥梁和铁路建设, 随后在青藏铁路、北京外环高架和地铁施工中都使用过。2004 年, 上海隧道公司引进了 2 台日本车辆生产的全回转套管钻机用于地铁 4 号线坍塌事故的工程修复, 取得了良好的效果, 是国内应用进行大型事故抢险的成功范例。目前国内进口的全回转套管钻机几乎全部是日本制造, 钻进口径从 1000 ~ 2500 mm, 总数已超过 50 台。相对于搓管机而言, 全回转钻机在驱动套管的方式和钻

收稿日期: 2013-07-24

基金项目: 科技部科研院所技术开发研究专项资金项目“ $\varnothing 2000$  全回转套管钻机、钻具及工艺”(2011EG130025)

作者简介: 宋志彬(1970-), 男(汉族), 河北玉田人, 中国地质大学(北京)博士在读, 中国地质科学院勘探技术研究所地质钻探室总工程师、教授级高级工程师, 地质工程专业, 主要从事大口径岩土钻掘设备和工艺、新型钻探设备和工艺的研究工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, szb430@263.net。

进套管的能力这2方面都有所进步和发展。

全套管钻进一般是指利用套管钻机(全回转钻机或搓管机)对孔内套管施加扭矩和垂直载荷,驱动力由套管柱传递给套管钻头(套管鞋),使套管柱在地层中钻进;同时必须利用钻掘机具(冲抓斗或旋挖钻机)在套管内部进行钻掘取土,以降低或最大限度地消除套管内部土塞的摩阻力,套管的钻进阻力主要来自套管外圆周表面与地层的摩阻力;全套管钻进过程中全孔套管护壁,没有泥浆和循环液参与,套管内部属于干式钻掘取土,套管内部的钻掘超前于套管的钻进,内部钻掘的超前量由所钻地层决定。套管柱由多根套管通过套管接头连接而成,钻进中加接套管单根通过管内取土直至钻进至设计桩深,接着下入钢筋笼并灌注混凝土,灌注混凝土和起拔套管交替进行,起拔套管时通过拆卸接头锥销拆卸下单根套管,直至灌注完全孔桩身同时起拔出孔内的全部套管。

目前全套管设备的主要应用领域有:全套管钻孔灌注桩、全套管钻孔咬合桩、全套管除障置换桩和地下旧桩的拔除等。大量应用实践证明,全套管工法具有3个优势特点:一是更环保、更安全(全孔套管护壁,无泥浆);二是适用地层更广(适用于流沙、流塑、承压水、砂卵石等易坍塌和破碎地层的钻进成桩);三是成桩质量更好(桩孔无泥皮和沉渣,桩身无缩径和离析,承载力更高)。

## 2 QHZ-2000型全回转套管钻机

QHZ-2000型全回转套管钻机是中国地质科学院勘探技术研究所借鉴国外同类钻机的先进技术,结合我国施工企业对钻机的长期使用经验和建议而研发的新一代360°回转大口径套管的大型岩土钻掘设备。钻机在机械结构、液压系统、电控系统方面做了许多有创新的设计,提高了钻机的自动化程度、可操作性和设计的新颖性,填补了国内自主研发开发的空白。

### 2.1 钻机的设计结构

钻机由主体部分、配套部分、液压泵站3部分组成。

#### 2.1.1 主体部分(见图1)

(1)底盘和调平单元(下盘):是钻机进行套管回转施工的接地底盘,底盘侧面设置有连接地锚箱和垫叉式反力臂杆的槽孔,用于承受提供套管回转扭矩的强大反力;内部设计有夹持套管的下夹持圈,用于起拔套管和接卸套管过程中防止套管下滑的

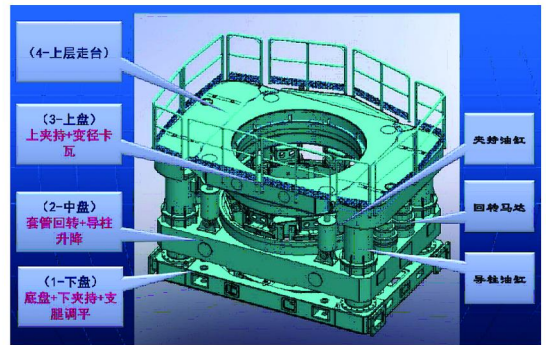


图1 全回转钻机三维设计图

辅助夹持;其上设置的支腿油缸具有实时自动调平功能,保证套管钻进的垂直度。

(2)套管回转驱动单元(中盘):是钻机回转套管的核心驱动箱体,其上安装液压马达、减速器,内部设置主动小齿轮、过渡齿轮、回转套管的大齿圈、以及分离内部套管回转与外部箱体静止的回转支承。

(3)套管夹持单元(上盘):套管垂直楔块夹紧机构包括4个夹持油缸、夹持动盘、夹持连杆、夹持楔块、变径卡瓦等,以及分离下部夹紧机构回转和上层平台静止的回转支承。

(4)上部护栏走台(上层平台):用于操作工人站立其上完成接卸套管的工作平台。

(5)套管压拔单元(压拔油缸):设置于钻机外围的4个导向伸缩立柱内部竖向安装了4个压拔油缸,用于提供钻进和起拔套管的竖向载荷。

(6)液压和电控单元(神经中枢):包括大流量负荷敏感液压系统、电气自动控制系统,钻机遥控单元等。钻机能同时完成套管的夹紧、回转、压入和起拔作业,采用全液压驱动方式,动力由液压泵站提供。增设套管钻压自动控制系统,垂直度自动调整系统,可调角度套管摇动系统,泵站智能散热系统。

#### 2.1.2 配套部分

(1)  $\varnothing 1000 \sim 2000$  mm 变径卡瓦:通过安装更换不同直径的变径卡瓦,钻机可以施工  $\varnothing 1000 \sim 2000$  mm 范围内任意直径的套管。

(2)钻机反力装置:包括地锚箱和垫叉式反力臂杆。前者用于施工场地狭窄时钻机的反力装置,地锚箱上部可以堆放不同重力的配重块,为套管回转扭矩和下压力提供足够的反力(尤其在套管钻进深度超过30 m时,钻机和套管重力不能提供足够的反力)。后者的反力臂杆狭长,一头与全回转钻机连接,另一头搭接在履带吊机的履带下,根据施工场地的条件可灵活布置,相对于地锚箱来说不占用过

多的场地,但只适用于套管钻进深度较浅(30 m 以内)的场合。

(3) 孔口机台板:用于钻机套管中心的定位和钻机基座的水平和稳固。机台板的四角分别设置可自动调平的液压支腿的定位槽,中间设置与所钻套管直径相适应的导向孔。

### 2.1.3 液压泵站

主要由 255 kW 柴油机、分动箱、二台液压主泵和二台辅泵、液压油箱及附件、冷却器、柴油机控制单元、液压控制单元、柴油机和液压仪表盘、外接油管快插单元、降噪外罩等部分组成。设置了待机节能、过载停车、油温和油位报警等泵站自保护系统。液压泵站为全回转钻机提供液压动力,设置有比遥控操作优先的操作面板,用于控制和显示发动机运行和钻机的输出载荷,同时创新设计了针对大流量负荷敏感液压系统的智能散热系统,提高了液压系统的效率和可靠性。

### 2.2 钻机主要技术参数

- 回转套管口径:1000 ~ 2000 mm;
- 额定转矩:2000 kN·m(瞬时 3100 kN·m);
- 额定转速:0.9/1.2/2.8 r/min(可无级变速);
- 额定拔管力:3100 kN;
- 外形尺寸:4500 mm × 2900 mm × 2300 mm;
- 主机净重:约 45 t(不含反力装置、孔口板和配重);
- 液压泵站输出功率:260 kW;
- 液压系统压力:31.5 MPa。

QHZ-2000 型钻机性能参数与国外同类钻机对比(见表 1)具有明显优势:一是转速范围宽,回转转矩大,套管钻进能力强,有利于清障施工和防止卡钻;二是起拔力大,可减少埋钻事故的几率;三是主机自重大,动力功率大,钻进稳定性好,过载能力强。

表 1 QHZ-2000 型钻机与国外同类钻机参数对比

制造商	钻机型号	工作转速/(r·min <sup>-1</sup> )	回转转矩 [瞬时] / (kN·m)	起拔力 /kN	质量 /t	功率 /kW
日本车辆	RT-200A	1.2/2.0	2030/1167 [2373]	2600	32	235
三和机材	RB-200HC-3	1.1/1.6/2.2	1800/1350/900	2540	38	190
日立住友	CD-2000	1.1/2.2	2060 [2250]	2720	32	190
德国 Leffer	RDM-2000	0~1.0	2900	2400	65	220
研制钻机	QHZ-2000	0.9~2.8	2200 [2600]	3100	45	260

### 2.3 钻机设计的关键技术

#### 2.3.1 垂直楔形夹紧套管机构

该机构的竖向夹紧油缸不回转,避免了水平抱瓦夹紧油缸回转时接卸油管的不便。8 块卡瓦可实现同步夹紧,套管圆周夹紧力均匀,保护套管外壁不受损伤。创新点是去掉了国外钻机采用的既昂贵又占空间的同步分流马达和蓄能器等结构,采用电液夹持补偿控制系统解决了夹持同步和夹持力可靠性问题。电液控制回路主要由液压油箱、液压泵、电比例阀、PLC 控制器、压力传感器与遥控盒组成,电液控制回路控制夹持油缸,通过 PLC 控制夹持油缸间歇动作,本实用新型利用电液控制回路实现套管的可靠夹持,在不使用蓄能器的情况下,解决了油缸泄压导致的夹持失效的问题,实现了套管夹持力的准确、可靠控制。

#### 2.3.2 套管钻压恒定和扭矩恒定控制系统

该系统为电液反馈控制系统,是针对 Ø2000 mm 以上大直径套管钻机对套管靴刀齿施加的超负荷引起切割刀齿过早损坏的现象研究开发的新技术。此系统通过油缸压力传感器、PLC 控制器和电比例减压阀配合来实现套管靴钻压和回转扭矩的恒定控制,保证随套管钻进深度增加,无论套管柱的自重和套管反扭矩如何变化,施加在套管靴上的钻压和扭矩保持在恒定的范围内,有效避免了套管靴刀头因超负荷引起的早期损坏,保证了套管钻进的顺利进行。

以 Ø2000 mm 套管钻进 40 m(不考虑地层对套管的摩阻力)施加给套管底部刀头的载荷  $F$  计算。Ø2000 mm 套管 40 m 的质量约为 80 t,Ø2000 mm 全回转钻机上部质量约为 25 t,则  $F = 80 + 25 = 105$  t。根据全回转套管靴的制造经验,Ø2000 mm 套管靴一般均布 32 个刀头,每个刀头的允许钻压控制在 25 ~ 30 kN(超过这个钻压值会造成刀头的破坏或过早损坏),这样 Ø2000 mm 套管靴的允许钻压  $F = 32 \times 25 \text{ kN} = 800 \text{ kN}$ 。根据前面的计算,这时 40 m 套管质量与钻机上部质量之和 105 t 已经超过了套管靴的允许载荷 800 kN,必须采用减压钻进将套管钻压维持在 800 kN 之内才是安全的。

通常,在钻进过程中,套管回转的同时进行压入,若压入力越大,回转阻力越大,需要提供越大的回转扭矩来破碎岩石。恒扭矩控制正是利用这一点,通过压力传感器、PLC 控制器和电比例减压阀配合来实现回转扭矩的恒定控制。

根据上述提到的恒压入力控制可以实现任意压入力(与增加的套管质量无关)的控制,又知套管压入力越大,套管所受回转阻力(矩)越大,现在回转

油路侧引入压力传感器,其返回数据来反应回转扭矩大小,通过 PLC 控制器调整压入力值来实现回转扭矩大小的恒定。

### 2.3.3 钻机下盘支腿油缸自动调平系统

该系统采用 PLC 控制器、中盘上的倾角传感器、支腿油缸内的位移传感器,实现支腿油缸的伸缩与中盘的水平自适应。通过保证钻机中盘水平来保证钻进套管的垂直度,实现了一次按键操作快速实现钻机自动调平的复杂功能。该系统为自主研发设计,较国外监测和调平分离的传统技术前进了一大步。

### 2.3.4 起拔套管的液压逃逸系统

该系统在钻机最高工作压力(一般 25 MPa)下也不能拨动套管的紧急情况下,利用独立的增压油缸回路使最高工作压力瞬间提高 30%,在短时间给钻机的压拔油缸一个峰值逃逸压力,使原本被地层卡住的套管解卡。创新点是改变了国外同类钻机选择带有瞬时高压的液压泵、控制阀和复杂的超高压管路的复杂设计,只在增压油缸和起拔油缸之间增压,降低了系统成本,同时提高了可靠性。

### 2.3.5 小流量不间断智能散热系统

在全回转钻机这种大流量(主油路回油流量高达 500 L/min)负荷敏感系统液压回路中,采用辅助回路小流量不间断散热技术与传统的主油路回油散热方式相比,避免了因主泵流量随执行动作所需流量的减少而减少而导致的散热不足,辅助油路回油可保持小流量不间断地散热,缩小了冷却器体积;双联冷却泵及温控开关的配合使用,保证了不同工况条件下的散热效果,与整机搭载的 PLC 控制器配合,形成了一套相对完整的智能散热系统,为整个液压系统的安全、可靠运行提供了保障。

## 3 全回转套管钻具

本文研究的全回转套管钻具是以全回转套管冲抓工艺(此施工工艺目前在国内应用最多)为代表的,主要由全回转钻机回转驱动的套管柱(全孔钢护筒护壁)、履带吊机吊放的冲抓斗(套管内钻掘岩土)这两部分组成。与搓管机用的套管和冲抓斗相比不同的是:(1)全回转钻机用的套管一般是双壁重型套管,套管柱连接后的总体直线度要求较高,套管接头所受的扭矩和载荷较大,对套管的抗变形能力要求较高;(2)全回转用冲抓斗的施工对象不仅仅是搓管机施工中最常见的土层,由于对地下清障施工的要求,该类冲抓斗要经受岩石层、钢筋混

凝土和各种地下障碍物的考验。因此这类冲抓斗的斗体一般是牢固的焊接箱型结构,抓瓣的抗冲击性能要求高,抓斗自身重力大,抓瓣的闭合力要求大。综上所述,我国在全回转钻机用套管钻具的研发制造上刚刚起步,钻具的性能与国外(特别是日本)产品还有较大的差距,主要体现在金属材料和装配工艺上,国内目前全回转钻机用的套管大部分还依赖进口。因此对此类套管钻具的研究开发迫在眉睫。

### 3.1 套管柱(见图 2)

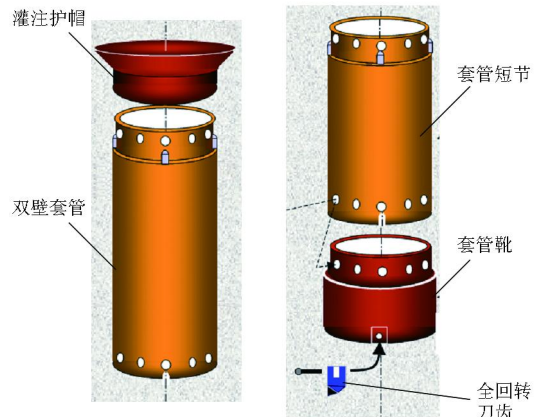


图 2 套管柱结构

全套管钻进用套管柱(由上而下)由灌注护帽、双壁套管(标准长度一般为 6~8 m)、套管短节(用于凑孔深用)、套管靴等组成。套管柱的主体双壁套管的管壁是内外双层的,中间夹层是格构状的筋骨,套管内壁光滑无台阶。全回转钻机用的套管,其接头强度满足钻机回转和压拔的要求,强度和制造水平比搓管机用套管要求要高,接头一般采用硬合金结构钢锻造而成,大直径套管的连接销的数量比搓管机用的多。

套管靴是套管柱最下面的套管钻头,满足对地层的切割和钻进要求。套管靴上的刀头为单向切削,分内、中、外 3 圈排列,针对不同地层选择不同硬质合金和刀体结构的刀头。

根据不同地层,全回转刀齿有 3 种硬质合金镶嵌形式:(1)软土刀齿采用合金直镶,合金宽度不超过钢体,钢体材质普通;(2)硬土刀齿采用硬质合金楔形镶嵌式焊接,硬质合金宽度超过钢体,钢体材质中等;(3)岩石刀齿采用硬质合金镶嵌式焊接,硬质合金宽度超过钢体,钢体材质坚硬,硬质合金硬度和韧性均要求高。根据全回转刀齿在套管靴上安装位置的不同又分为外齿、中齿、内齿、内壁切割齿等不同功能的刀齿。

根据地层不同,套管靴的布齿形式分 3 种类型,

如图3所示。

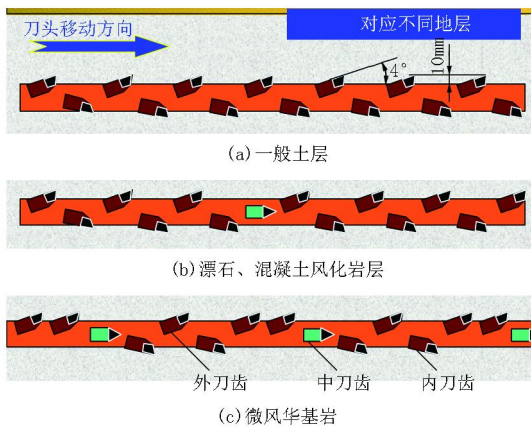


图3 套管靴上刀头的布置形式

(1)一般土层:管靴底部交替布置外齿和内齿,数量比为1:1,内外出刃约为10 mm;

(2)漂石、混凝土、风化岩层:管靴底部交替布置外齿和内齿,数量比为1:1,酌情布置中齿切割;

(3)微风化硬基岩,布齿规律是外-内-外-外-中-内,外、内、中齿的数量比为3:2:1。

刀齿的损坏形式有3种:一是硬质合金脱落;二是硬质合金磨损严重;三是硬质合金和钢体同时磨损严重;四是硬质合金完好,钢体磨损。

### 3.2 冲抓斗

全套管冲抓斗主要由脱挂器、滑轮增力机构、抓瓣座、抓瓣组成。冲抓斗是套管内抓取岩土的工具,推荐主钩不小于500 kN的履带吊机的配合,吊机应具备不小于100 kN的具有自由落体快放功能的副钩。抓斗配套自动脱挂装置(俗称脱挂帽),吊机副钩提放抓斗与脱挂帽配合实现抓斗的下放、冲抓、提升和卸土作业。抓斗结构满足下放冲击的耐久性和抗磨损性,同时适合水下抓取岩土的功能。

脱挂器:采用单绳脱挂方式。这种脱挂方式挂钩、脱钩用一根钢丝绳操作,操作简单,在目前的冲抓斗中使用较为普遍。

滑轮增力机构:由于机械式抓斗比液压抓斗自重轻很多,一般在2~5 t之间,仅靠自重作用合拢抓瓣会因为闭合力小而无法抓取岩土,因而一般机械式抓斗均设有滑轮增力机构。该滑轮组一般有2个定滑轮、3个动滑轮,增力系数为6,因此抓瓣闭合连杆的驱动力大约为抓斗自重的6倍。

抓瓣座及抓瓣:抓瓣工作情况比较复杂,一方面承受抓斗本体的向下冲击力,另一方面承受孔底岩石的反力。若地下含有卵砾石,在快速冲击下抓瓣极易容易断裂。使用中发现抓瓣损坏主要在刃部和

连接支座处,这种工作状况对抓瓣的制造和热处理要求较高。而抓瓣本身形状复杂不易加工。抓瓣座和抓瓣采取不同直径规格的系列化设计,不同直径的抓斗可共用一个斗体。当工程需要时,可以将抓瓣及抓瓣座卸下并换上相应直径的抓瓣及抓瓣座,以满足不同工程的需要。

## 4 全回转清障钻具

根据全回转钻机清障施工的不同,清障钻具大致分为斜楔断桩器、液压割桩器、多撑靴破碎器等3种类型。

### 4.1 斜楔断桩器

旧桩的拔除必须分段进行。例如拔除24 m的 $\varnothing 1200$  mm旧桩需要在-8和-16 m的位置断桩2次,分3次拔除各8 m的断桩。拔桩上面的8 m断桩时,需要用 $\varnothing 1500$  mm以上直径的套管连续钻套旧桩10 m左右,然后下入斜楔断桩器至大致-8 m的位置,后用重锤击打斜楔,强大的冲击力通过斜面转化为断桩的水平分力,从而楔断旧桩的混凝土部分。拔桩时利用全回转钻机驱动套管的强大扭矩将旧桩的钢筋笼回转绞断,然后提拔出断桩。此法的缺点:一是断桩的位置不容易控制,多数情况下桩的断裂面与预想断裂位置差别较大;二是斜楔的强大侧向力对套管的损伤很大,严重降低套管的使用寿命。

### 4.2 液压割桩器

此装置巧妙地隐藏于双壁套管靴的管壁夹层中,由多个液压油缸同步驱动切割瓣沿斜面推进切割进入管靴的旧桩体,切割瓣的形状类似抓瓣,上面装有专门设计的硬质合金刀头。液压动力由地面的泵站提供,液压胶管的下方由履带吊机的胶管绞盘自动同步输送。施工时套管靴钻套旧桩至预定断桩位置后,启动液压动力驱动切割瓣同时驱动套管回转,割桩器刀头回转切入状体形成环状切槽,切割刀头切到桩体内部的钢筋笼后持续进行回转切割,直至切断桩内的外围钢筋。最后液压收回切割瓣下入斜楔扭断旧桩。此法的优点一是断桩位置准确(肯定在切割环槽处),二是由于斜楔只需挤在套管与旧桩之间不需强大的冲击力,因此对套管基本没有什么损伤。缺点是该装置的结构和液压驱动设备较复杂。

### 4.3 多撑靴破碎器

如图4所示,此装置在地下障碍物无法用冲凿和切割的方法处理的极端条件下或者城市中心的

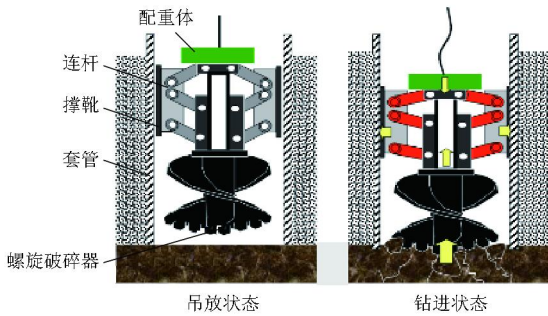


图4 多撑靴破碎器

下放该工具到破碎位置(到孔底后再稍提离孔底),松钢丝绳后上部配重体自重下行驱动连杆机构,重力分解为使中部的多撑靴外扩挤压在套管内壁的扩张力;钻机回转套管时多撑靴(带有凸键)和专用多撑靴传扭管(带有凹键槽)结合成一体,强大的扭矩和压力由钻机驱动的套管传递给下部的螺旋破碎器。此法的优点是清障效果强大,低噪声和振动,缺点是结构和成本较高。

## 5 全回转套管施工工艺

### 5.1 全回转套管冲抓灌注桩施工工艺

全回转套管冲抓成孔灌注桩施工工艺的流程(见图5)分为全套管钻进成孔和全套管灌注成桩2个阶段。这2个阶段紧密相连,套管钻进成孔和套管起拔灌注一次完成。

施工现场对振动和噪声的要求严格的场合下使用,是一种有强大破碎效果的环保型清障工具。该工具的结构包括:上部配重体,中部连杆机构的多撑靴,下部强大的螺旋破碎器,以及套管靴上部带有键槽的专用多撑靴传扭管。当套管内的障碍物存在无法切割、冲凿、抓取的粗钢筋或厚壁钢结构时,用吊机

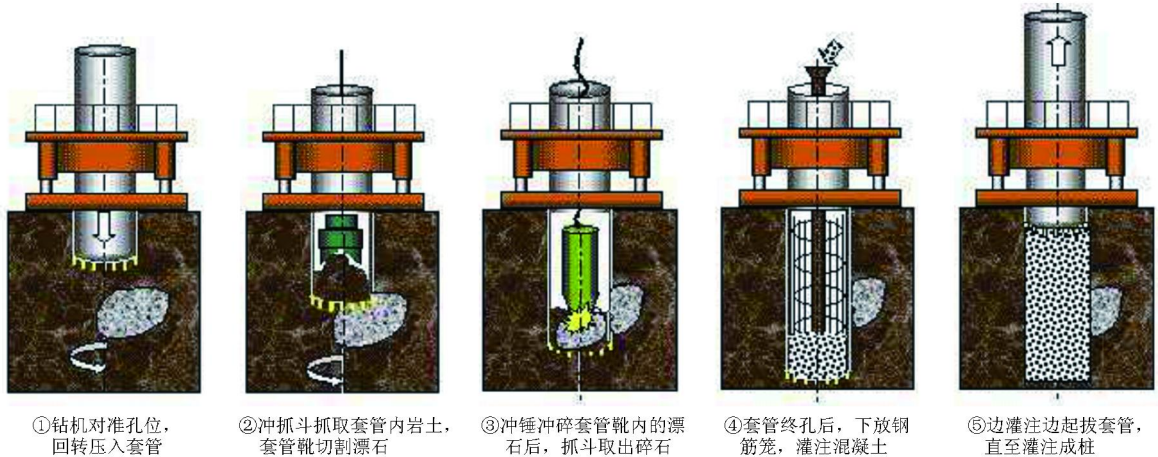


图5 全回转套管冲抓成孔灌注桩施工流程图

#### 5.1.1 全套管钻进成孔阶段

(1)全回转钻机对中桩位,钻机回转驱动套管的同时下压套管,实现套管快速钻入地层。

(2)套管钻入地层的同时,利用吊机沿套管内壁释放冲抓斗至孔底实现冲抓取土(也可以利用旋挖钻机在套管内旋挖取土),一边在套管内冲抓(或旋挖)取土一边钻进套管,当遇到孤石(或地下障碍物)时,套管靴边切割边压住孤石。

(3)可利用冲锤在套管内冲击破碎孤石(或地下障碍物),套管内的孤石部分被快速冲碎,随着套管的持续钻进,套管外的孤石部分被挤入孔壁,然后利用抓斗将套管内被冲碎的孤石捞出。这样边冲抓边钻进套管,直至将套管钻至设计桩深,套管内的岩土全部被抓取出来,最后清理孔底沉渣终孔。

#### 5.1.2 全套管灌注成桩阶段

(1)终孔后吊机下入钢筋笼和灌注管,一边灌

注混凝土一边起拔套管。

(2)灌注完毕的同时套管也全部拔出,成桩结束。

全回转套管冲抓成孔灌注桩施工工艺具有其他的钻孔灌注桩施工法(如泥浆循环回转施工法、冲击反循环施工法、旋挖施工法等)无法比拟的优势特点:

(1)施工过程中全孔套管护壁、钻进和灌注均无孔壁坍塌风险,灌注桩规则、无断桩和缩径的风险;

(2)成桩的垂直精度高;

(3)成桩过程中对周边建筑物地基无扰动;

(4)无泥浆排放,无震动和噪声,不扰民;

(5)几乎适用于所有复杂地层;

(6)适用于深基坑支护用的咬合桩、拔除地下灌注桩和预制桩、旧桩置换灌注桩、清除地下障碍物

等各个领域。

综上所述,该施工工艺与其他工法相比具有显著的应用创新特点,是城市建设中广谱高效、绿色环保的新型钻孔灌注桩施工方法。

## 5.2 全回转套管清障施工工艺

### 5.2.1 全套管清除深埋的钢管和钢桩

#### 5.2.1.1 施工工艺

(1)全回转大直径套管套住地下的小直径钢桩或钢管,内部土体用冲抓斗取出;

(2)钢桩周围未能涉及的土体采用水射流喷射的方法清除;

(3)用吊机直接将钢桩拔出。

#### 5.2.1.2 适用范围

用于套管靴无法切割、冲锤和抓斗无法冲凿破碎的深埋地下的小直径钢结构。一般可清除的钢管或钢桩的直径在800~1000 mm,所用外套管的直径在1500~2000 mm,可处理的埋深一般在20~40 m的范围内。外套管与所清除的钢管之间的空间用于冲抓斗取土和进行必要的水力射流处理,是一种环保高效的方法。由于外套管全孔护壁,清障施工不影响周围建筑物的基础,无噪声和振动,适合于城市改造和原位清障置换灌注桩的施工。

### 5.2.2 全回转套管冲抓清除钻孔灌注桩

#### 5.2.2.1 施工工艺

(1)全回转大直径套管套住地下的钻孔灌注桩,桩头上部的土体用冲抓斗取出,露出桩头;

(2)用重锤反复冲击,击碎桩体的混凝土结构;

(3)用冲抓斗将旧桩的碎块取出。冲锤冲击和抓斗抓取交替进行,随着冲抓掘进的深度增加套管持续超前跟进,直至将整个旧桩全部破碎后清除上来。

#### 5.2.2.2 适用范围

适合冲凿破碎的既有钻孔灌注桩,有一定程度的振动和噪声,但全套管护壁不影响周围建筑物的基础,适合于城市地铁地下盾构施工前清除盾构前进路线上的钻孔灌注桩。目前此工法在国内的应用越来越多,清除既有钻孔灌注桩的直径在600~1200 mm,深度20~40 m,全回转套管的深度一般在30~50 m。

### 5.2.3 全套管护壁拔除旧桩

首先,用水钻在地下旧有的预制桩、钢桩、混凝土桩的周围钻几个孔(最好用高压水喷射旧桩的周围),使旧桩与周围地层剥离,大幅度减少地层阻力。其次,用搓管机或全回转钻机驱动下压套管套

住旧桩,然后搓管或全回转钻进套管。

对于深度15 m以内的短桩,套管可以一次性套至旧桩的底部以下或超过桩深的2/3处。最后下入偏心楔使旧桩与套管成为一体,摇摆或全回转起拔套管和旧桩,旧桩与地层分离后直接采用大吨位吊机就可以将整根旧桩拔出。根据地层情况可以一次钻机缓慢摇动套管的同时起拔套管(可以在套管内灌水以解除真空抽吸作用),旧桩在套管的带动下会克服地层的静摩擦阻力而松动;旧桩提动后可以用吊机直接拔出旧桩。有时功能强大的抓斗也可以直接将切断的旧桩抓出。

对于深度15~40 m的长桩,考虑旧桩的质量和长度吊机无法起吊,必须分段拔除。采用上述同样的办法可以反复分段拔除旧桩。全回转钻机驱动套管先套住旧桩上部通常12~15 m,将斜楔断桩器或液压割桩器下入预定断桩位置(预定断桩位置一般在套管靴位置以上2~3 m),楔断或切割旧桩混凝土后全回转扭断旧桩内部钢筋,然后拔除第一节断桩;其后按照同样方法分节拔除下部旧桩。套管内部的土体和破碎物用冲锤和冲抓斗直接抓取出来。当套管内的障碍物存在无法切割、冲凿、抓取的粗钢筋或厚壁钢结构时,需要采用多撑靴破碎器强力破碎后,再用抓斗抓取出破碎物。

### 5.2.4 全套管多撑靴清除钻孔灌注桩

#### 5.2.4.1 施工工艺(见图6)

(1)全回转大直径套管套住地下的钻孔灌注桩,桩头上部土体用冲抓斗取出,露出桩头;

(2)多撑靴螺旋破碎器吊放下入套管内的桩头上,松钢丝绳后破碎器的自重使机械式扩张靴块向外扩张牢固地撑在套管内壁上,回转套管时驱动多撑靴破碎器一同回转,强力破碎桩体和钢筋;

(3)提出破碎器后用冲抓斗将旧桩的碎块取出。破碎和冲抓交替进行,套管全程跟进护壁,直至破碎清除全部桩体。

#### 5.2.4.2 适用范围

适合破碎冲锤和抓斗都无法破碎的高强度钻孔灌注桩,同时该工艺破碎器在套管内回转破碎,振动和噪声小,在城市居民区和办公区域施工时不允许振动和噪声的场合最适合应用,是目前国外最先进的环保清障施工工艺。目前日本是此工法应用最广泛的,全套管清障直径达2000 mm,深度达50 m。工法的关键设备是多撑靴破碎器,有机械式和液压式两种,液压式破碎器所需的吊机设备要具备液压软管同步收放装置和软管回转分离装置。因

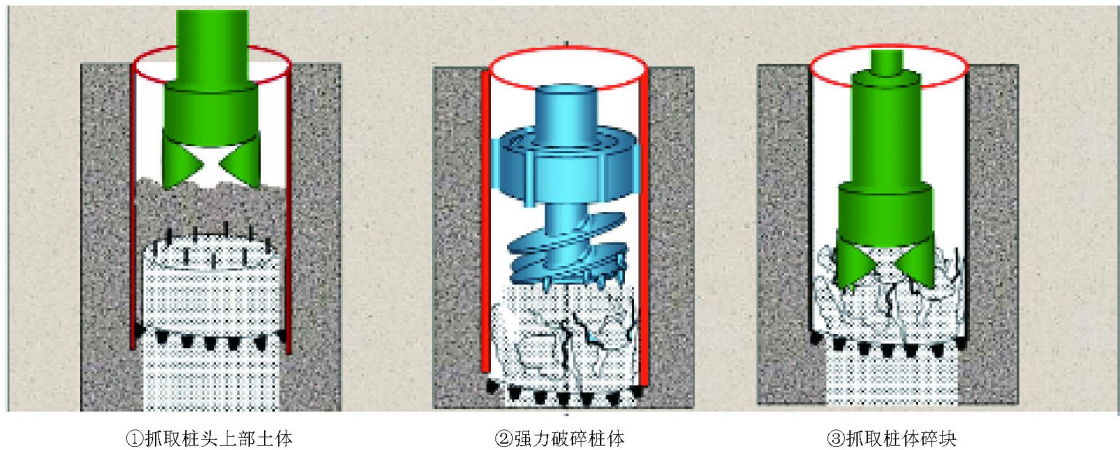


图6 全套管多撑靴清除钻孔灌注桩

液压式破碎器配套设备的复杂性,机械式破碎器的使用较为广泛。

### 5.2.5 不同清障工法的机理和特点

在全回转钻机的压入力和回转扭矩的共同作用下,回转驱动套管,套管管靴上的高强刀头对土体、岩层及钢筋混凝土等障碍物进行环状回转切削,由于回转速度慢且管靴刀齿的内外出刃量较大,切削下的岩粉直接被管靴挤到套管外侧,钻进过程中没有泥浆的参与,管靴的压入力由全回转钻机的压入力控制系统根据孔内套管的质量自动调整控制,使每个刀头的载荷和运动速度维持在允许的范围内,刀头的寿命能够得到保障。清障过程中要保证套管一直超前于套管内的钻掘速度,如果钻掘深度超前于管靴,一方面会造成冲击破碎直接作用于管靴刀头处,使管靴刀头过早损坏;另一方面会造成管靴下部形成冲击挤压聚合区,管靴回转切削受阻无法有效进尺。

在整个清障过程中套管切割和顶拔、套管内障碍物的破碎清除是整个施工的关键。利用重锤对套管内的混凝土障碍物进行破碎,然后利用冲抓斗对破碎后的障碍物清理干净;如果无法用冲抓破碎的障碍物必须采用多撑靴破碎器强力破碎后,再用抓斗抓取出来。最后向套管内回填土体并逐节起拔出套管,清障施工完成。清障施工是在旧桩分段拔除和整体拔除困难的条件下的唯一选择。

## 6 结语

全套管设备和工法是一种适合在城市施工的环境安全型施工技术,成功解决了常规工法在泥浆难以护壁的软弱地层、含承压水的流沙和流塑地层,易

塌孔埋钻地层、松散地层和卵砾石层中无法钻进成桩的难题;能够最大限度地保证施工质量,易于实现科学程序施工;可以为施工方节省大笔泥浆材料和泥浆处理费用,有效避免因地层复杂和钻进中断造成的断桩和承载力不足等常见质量事故,显著减少操作不当造成的机械和人身事故,避免普通工法对邻近建筑物基础和地层的扰动和破坏;施工中不扰民、不污染环境,其社会效益非常巨大。全套管钻孔咬合桩、全套管钻孔灌注桩、全套管除障和拔桩等桩基施工在城市建设和桩基础施工领域中正在发挥越来越大的作用。

### 参考文献:

- [1] 张金昌,宋志彬,王年友,等. CG1900型全套管冲抓成孔设备、器具及施工工艺的研究和应用[J]. 探矿工程,2001,(6).
- [2] 甘行平,童品正,刘家荣. 日本桩工机械和基础施工方法现状[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(11).
- [3] 宋志彬,冯起赠,王年友,等. CG型全套管冲抓成孔设备及施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9).
- [4] 冯起赠,宋志彬,王年友. CGD-1型大口径全套管冲击抓斗的设计和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(6).
- [5] 史兵言. 旋挖钻机用双层套管的加工工艺和质量控制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(4).
- [6] 郭传新. 全回转冲抓斗钻孔机的全回转套管装置[J]. 工程机械,1999,(11).
- [7] 王瑜,方伟. 大直径全套管钻孔机及施工工法[J]. 建筑机械,1999,(5).
- [8] 朱卫杰,余暄平,郭亮,等. 深层障碍物切割清理施工技术及其应用研究[J]. 地下空间与工程学报,2006,(4).
- [9] 邓指军. 钢套筒压入对邻近地铁隧道的影响分析[J]. 施工技术,2011,40(7).
- [10] 植田政明,嶋井森幸. 大口径立孔掘削機械化施工法の開発と發展[J]. 基礎工,2000,(2).