

# 旋挖钻机配套集束式潜孔锤硬岩施工方法研究

牛庆磊<sup>1</sup>, 吕永亮<sup>2</sup>, 贾 炜<sup>1</sup>, 王三牛<sup>1</sup>, 史兵言<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 吉林大学应用技术学院, 吉林 长春 130021)

**摘要:**针对旋挖钻机在大口径硬岩地层嵌岩桩施工困难的问题,采用旋挖钻机配套集束式潜孔锤的解决方案,设计了JSQ-Z正循环及JSQ-F反循环2种类型集束式潜孔锤,并提出了3种施工方法及钻具配套方案,使旋挖大口径硬岩施工更加快速、高效、经济。

**关键词:**旋挖钻机;集束式潜孔锤;反循环;嵌岩桩

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)12-0057-04

**Study on Hard Rock Drilling Construction by Rotary Drilling Rig Matched with Cluster DTH Hammer/NIU Qing-lei<sup>1</sup>, LU Yong-liang<sup>2</sup>, JIA Wei<sup>1</sup>, WANG San-niu<sup>1</sup>, SHI Bing-yan<sup>1</sup>** (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Applied Technology College of Jilin University, Changchun Jilin 130021, China)

**Abstract:** According to the difficulties for rotary drilling rig in large diameter rock-socketed pile construction in hard rocks, cluster DTH hammer is matched as the solution. JSQ-Z positive circulation and JSQ-F reverse circulation cluster DTH hammers were designed, 3 kinds of construction methods and drilling tools matching scheme are presented, which makes large diameter rotary drilling in hard rocks more rapid, efficient and economical.

**Key words:** rotary drilling rig; cluster DTH hammer; reverse circulation; rock-socketed pile

## 0 引言

旋挖钻机是现代桩基施工中最常用的设备之一,主要适合于沙土、粘性土、粉质土等土层施工,在钻孔灌注桩、地下连续墙、基础加固等多种基础施工中得到了广泛应用。旋挖钻机功率一般为125~450 kW,动力头扭矩为120~520 kN·m,成孔直径一般为0.8~2 m,最大成孔直径达到4 m,最大孔深在60~90 m之间,其主要特点是钻进能力强、效率高、环保、自动化程度高。

但随着现代桩基础的加深,嵌岩桩及其他入岩钻孔桩的需求增多,旋挖钻机的应用受到越来越多的局限,特别是卵砾石、致密灰岩以及花岗岩地层,旋挖钻机施工起来十分困难。通常在嵌岩桩最后几米入岩时采用的方法是牙轮筒钻套取法或螺旋破岩法,表现的主要问题是切削齿或牙轮损耗巨大、机器振动大、进尺效率低、耗时长、钻进成本高。若遇到山上打桩开孔入岩或嵌岩桩工程量加大时,从经济上考虑旋挖钻就显得不适合。

近些年,随着旋挖钻机的不断普及,常规土层钻孔价格一路走低,入岩桩的价格还处在较高水平,提高旋挖钻机入岩能力,降低入岩桩施工成本,还是会有较高的利润。在小口径钻探如凿岩爆破孔、水井基岩孔、矿山通风孔及地质钻探中,潜孔锤一直是应对硬岩地层快速钻进最有效的解决办法,单体的潜孔锤最大直径28 in(Ø771.2 mm),最大能打43 in(Ø1092 mm)的孔,这对于大口径桩基工程的桩径来说是远远不够的,且价格过高,不利于市场推广。

集束式潜孔锤是近些年发展起来的新型钻具,它是将若干个小直径潜孔锤组合在一起回转破岩的特殊钻井工具,钻孔口径在600~3000 mm之间。中国地质科学院勘探技术研究所多年来一直致力于大口径旋挖钻具及集束式潜孔锤研制工作,经过2年多的研究,开发出了JSQ-Z系列正循环及JSQ-F系列反循环集束式潜孔锤,并提出了旋挖钻机硬岩钻进3种配套解决方案。3种方案各有利弊,要结合具体工程条件来选择。

收稿日期:2015-11-13; 修回日期:2015-11-17

**基金项目:**中国地质调查局地质调查项目“松辽盆地资源与环境深部钻探工程”之“深孔扩孔钻进技术应用研究”(编号:12120113017600);科技部科研院所专项项目“矿山应急抢险救灾快速成孔技术研究及应用”(编号:2013EG130020)

**作者简介:**牛庆磊,男,汉族,1988年生,勘查技术与工程专业,从事反循环钻井技术及深孔扩孔钻进技术研究工作,河北省廊坊市市金光道77号,469294278@qq.com。

## 1 JSQ-Z型正循环集束式潜孔锤

### 1.1 JSQ-Z型正循环集束式潜孔锤主要技术参数

JSQ-Z系列正循环集束式潜孔锤是专门为旋挖钻机配套设计,口径系列包括800、1000、1200、1500、1800 mm等,满足市场大部分钻孔灌注桩工程需求,主要技术参数如表1所示。

表1 JSQ-Z系列集束式潜孔锤技术参数

直径/ mm	锤头数量/ 只	最小风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	推荐风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	质量/ kg
800	5	50	75	2454
900	6	60	90	2928
1200	9	90	135	4823
1500	13	130	195	7454
1800	17	170	255	8905

### 1.2 JSQ-Z型正循环集束式潜孔锤结构原理

该系列集束式潜孔锤主要特点是结构较为简单,采用国产高风压无阀式潜孔锤,工作风压1.0~2.1 MPa,冲击功1150 J,冲击频率950~1650次/min,潜孔锤采用特殊设计的上下接头,实现轴向固定和防自转。筒体采用箱式结构焊接加工而成,结构紧凑、强度高。

JSQ-Z系列集束式潜孔锤结构如图1所示。通气接头上部为母方头,钻机通过伸缩钻杆与通气接头相连驱动集束式潜孔锤回转。空压机产生的高压空气通过胶管进入通气接头中心,通气接头连通气室,气室连通着各个潜孔锤,高压气体通过配气接头进入单体潜孔锤内部,驱动潜孔锤工作。潜孔锤产生的尾气携带岩渣通过返渣通道上返至钻杆处,由于钻杆与孔壁环空间隙增大,空气流速降低岩渣下落,落入渣筒内。渣筒装满后提钻,通过副卷扬提拉渣筒,渣筒与集束式潜孔锤脱开倒出岩渣,再次下钻继续进行下一回次钻进。筒体采用焊接式结构,整体性强、安全可靠,潜孔锤拆卸简单,易于维修及更换锤头。

## 2 JSQ-F型反循环集束式潜孔锤

反循环集束式潜孔锤主要特点是钻杆及钻头采用双通道结构,双壁钻杆环空间隙走气,中心通道返渣。之所以采用这种复杂的结构,因为当进行大口径施工时,钻孔直径和钻杆直径差比较大,钻进所产生的岩屑经过钻杆与孔壁环空间隙返至地表,这需要有足够的风量才能保证较高的上返流速。或者采用前面提到的正循环潜孔锤上部放置盛渣筒的结构,

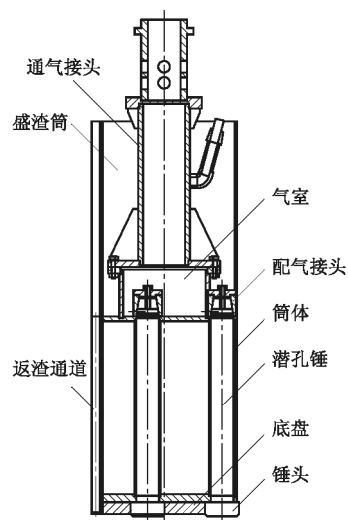


图1 JSQ-Z系列正循环集束式潜孔锤结构示意图

在上返流速不够的情况下,岩屑落入盛渣筒。当钻进一段时间盛渣筒装满时,需要提钻倒出岩屑,这就需要很长的辅助作业时间,不能实现连续钻进,不适合于较深孔钻进。反循环钻进工艺很好地解决了这一问题,潜孔锤尾气携带岩渣进入相对狭窄的内管通道,使上返流速达到20 m/s以上较理想的速度,使用的空压机数量少,且不受孔径大小限制,孔底清洁效果好,节约钻进成本。

JSQ-F型反循环集束式潜孔锤结构如图2所示,上部采用六方接头与上部双壁钻杆相连,气体从双壁钻杆内外管环空间隙进入交叉气室中,交叉气室与下气室通过法兰连接,气体在下气室平均分配给各个潜孔锤,驱动其工作,潜孔锤尾气携带岩渣进入吸渣管上返,通过交叉气室进入六方接头内管,岩渣沿内通道返至地表。JSQ-F型反循环集束潜孔锤

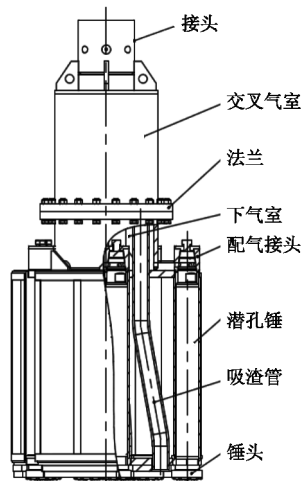


图2 JSQ-F系列反循环集束式潜孔锤结构示意图

采用的潜孔锤与 JSQ-Z 型采用的都是 8 in ( $\varnothing 203$  mm) 正循环潜孔锤,具有互换性。单体潜孔锤也可采用反循环贯通式,这样集束式潜孔锤结构上就省略了下部吸渣管,岩屑直接从潜孔锤中心通道返至双壁内通道,具体结构如同吉林大学研制的行星排列反循环集束式潜孔锤(如图 3 所示)。

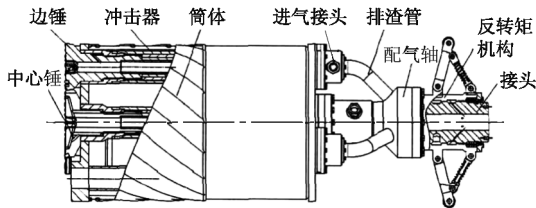


图 3 行星式反循环组合式潜孔锤结构示意图

### 3 旋挖钻机配套集束式潜孔锤钻进工艺

#### 3.1 第一种方案

该方案舍弃旋挖钻机伸缩钻杆,采用特殊设计的摩阻式主动钻杆及单壁钻杆,连接方式采用六方连接,一方面保证钻杆外平,同时保证钻杆加接快捷性,不需要另外购置钻杆拧卸设备,潜孔锤采用 JSQ-Z 系列正循环集束式潜孔锤。整套设备工作原理如图 4 所示,高压空气通过钻杆内通道进入潜孔锤,驱动潜孔锤做功,集束式潜孔锤进行冲击回转钻进。潜孔锤尾气携带岩渣通过集束式潜孔锤返渣通道上返落入渣筒,形成正循环钻进。为了避免渣筒装满后提钻拆卸钻杆的麻烦,在整套设备中增加了砂石泵,砂石泵将孔内岩渣抽到地表,通过泥沙处理装置进入沉渣池,最终泥浆又回流至孔内。这种工法类似于泵吸反循环钻井工艺,受到内摩阻力、砂石泵与冲洗液面高差等因素影响,其反循环的孔深受到一定限制,一般泵吸反循环合理深度在 70 m 以内。应用这种工艺孔内必然有泥浆循环,空气潜孔锤背压较高,需要增大风量才能保证潜孔锤正常工作,能耗增加显得不够经济,这种工法主要适合于嵌岩桩较多的工程中。

#### 3.2 第二种方案

该方案依然采用旋挖钻机伸缩式钻杆,未对旋挖钻机进行任何改动,旋挖钻机仅需卸掉原有捞砂斗,与 JSQ-Z 正循环集束式潜孔锤相连即可,钻具配套非常简单。整套设备工作原理如图 5 所示,旋挖钻机采用捞砂斗清除上部土层,提钻卸去捞砂斗,接上集束式潜孔锤,同时接上高压通气胶管。钻机启动高压空气通过高压胶管送至孔底,驱动潜孔锤工作,

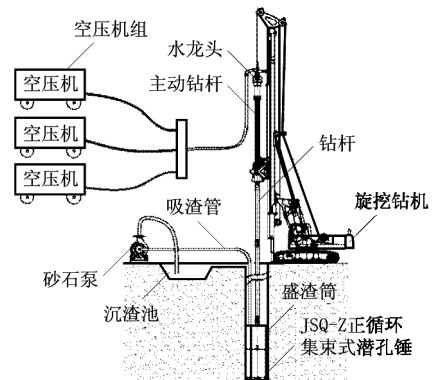


图 4 旋挖配套集束式潜孔锤方案一

尾气携带岩渣落入盛渣通。盛渣筒装满后,旋挖钻机提钻,主机转向,副卷扬提拉盛渣筒卸掉岩渣,接着进行下一回次钻进。图 1 中通气接头与胶管接头刚性连接,接头回转胶管也跟着一起转,为防止高压胶管缠绕钻杆,旋挖钻机只能做正负  $360^\circ$  的回转。还有一种办法就是在集束式潜孔锤通气接头上增加反扭装置如图 3 中所示,实现气管相对孔壁不动,中心轴驱动集束潜孔锤回转。第二种方案孔内不需要冲洗液,可进行干孔钻进,潜孔锤背压小,可采用较少的空压机实现冲击钻进,能耗低、配套钻具少、施工简便快捷,适合于嵌岩桩最后几米入岩钻进。

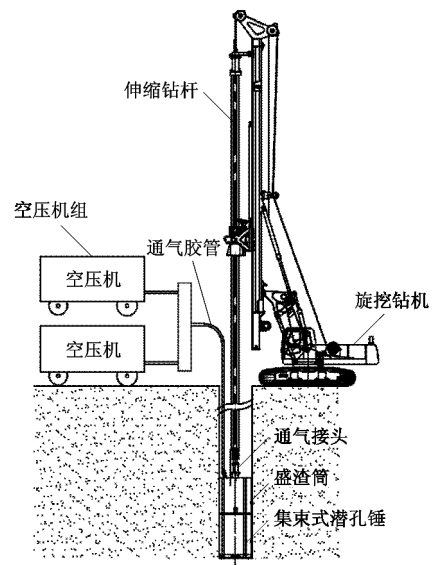


图 5 旋挖配套集束式潜孔锤方案二

#### 3.3 第三种方案

该方案采用 JSQ-F 系列反循环集束式潜孔锤,因此需要配套双通道的钻具,如图 6 所示。旋挖钻机配套气水龙头及双壁主动钻杆,双壁主动钻杆采用摩阻杆,这样潜孔锤的振动不会作用至动力头,

对动力头产生冲击破坏。主动钻杆与下部双壁钻杆采用六方连接,钻杆下部连接集束式潜孔锤。另外还需配套空压机组、集气罐、高压胶管、排渣胶管、孔口板及除尘气渣分离装置等。高压气体通过双壁钻杆内外环状间隙输送至孔底,驱动潜孔锤做功,尾气携带岩渣沿内管通道上返至地表。这种方案的主要特点的是集束式潜孔锤可进行连续钻进,钻杆采用六方接头连接加接速度快,气密性好,钻井不受限制;采用反循环钻进工艺,孔底清洁效果好,岩屑上返所需的风量较少,在满足潜孔锤正常工作的前提下,风量足够满足岩屑上返需求。相比较前两种方案来说,配套双壁钻杆及反循环集束式潜孔锤等成本较高,因此该种方案适合于深孔硬岩钻井工程,且钻孔工程量较大,才能降低综合使用成本。

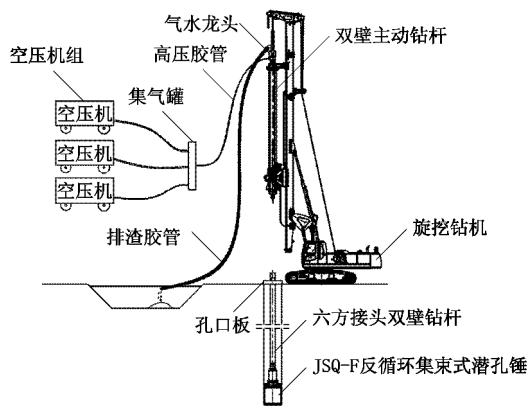


图6 旋挖配套集束式潜孔锤方案三

#### 4 JSQ-F型反循环集束式潜孔锤试制及钻具配套

2015年6月天津某基础工程有限公司在云南承包了一个大型水电桩基工程,该工程设计将山体上部覆盖层去除,在基岩上打198个 $\varnothing 1.3\text{ m}$ 桩孔,孔深110 m,基岩单轴抗压强度达到120 MPa以上,采用旋挖钻机施工难度极大。我们与该公司经过细致研究后,决定采用第三种配套方案,即采用JSQ-F型反循环集束式潜孔锤,配套气水龙头、双壁主动钻杆、 $\varnothing 377\text{ mm}$ 双壁钻杆、孔口板、集气罐、高压胶管及排渣胶管等(如图7所示)。目前,设备已全部试制成功,集束式潜孔锤完成了室内试验,潜孔锤工作正常、性能良好,钻杆钻具完成气密性试验,达到了出厂要求。

#### 5 结语

集束式潜孔锤发展至今已有30多年,随着气动



图7  $\varnothing 1300\text{ mm}$ 反循环集束式潜孔锤、气水龙头、 $\varnothing 377\text{ mm}$ 双壁钻杆

图7  $\varnothing 1300\text{ mm}$ 反循环集束式潜孔锤、气水龙头、 $\varnothing 377\text{ mm}$ 双壁钻杆

潜孔锤设计及制造水平的发展,集束式潜孔锤的性能及寿命也不断提高,应用范围不仅可应用于旋挖基础施工,还可广泛应用于矿山通风、送料、瓦斯抽采、救援孔工程中,可采用正循环或反循环钻进工艺,是一种快速、高效、安全的施工方法。旋挖配套集束式潜孔锤,发挥了旋挖钻机施工大口径速度快的优势,提升了旋挖施工中硬以上基岩地层的能力,值得进一步推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 王清岩. 旋挖钻机嵌岩桩施工用反循环潜孔锤钻具研究[J]. 工程机械, 2013, 44(10): 14-18.
- [2] 宋刚. 硬岩地层旋挖钻进组合工艺的研究及应用[J]. 施工技术, 2011, 40(2): 72-74.
- [3] 刘振东. 大口径集束式潜孔锤结构与动力特性的研究[D]. 黑龙江大庆: 东北石油大学, 2013.
- [4] 冯起赠, 秦如雷, 许本冲, 等. 全液压车装钻机在集束式潜孔锤反井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 23-26.
- [5] 钱免云, 何清华, 朱建新. 组合式潜孔锤及其施工方法: 中国, 201010298838.5[P]; 2010-09-30.
- [6] 刘广志. 用集束式潜孔锤做硬岩连续墙开挖机[J]. 探矿工程, 1994, (4): 6-8.
- [7] 高啟瑜, 曹主军, 张强, 等. 大直径集束式潜孔锤正循环快速扩孔钻进技术试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(9): 38-41.
- [8] 卢予北, 王建华, 陈莹, 等. 空气潜孔锤在松散地层中的钻进试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(7): 9-11, 27.
- [9] 赵江鹏. 大直径集束式潜孔锤反循环钻进方法先导性试验[J]. 金属矿山, 2015, (10): 121-124.
- [10] 王茂森, 殷琨, 张晓光. 大直径环式组合潜孔锤及钻进工艺研究[J]. 地质与勘探, 2006, (2): 90-92, 96.