

# 气动潜孔锤与螺旋钻机组合技术在复杂地层中的应用

梅献忠, 黄 军, 张亚运, 汪能亮, 吴 戈  
(浙江省建工集团有限责任公司, 浙江 杭州 310012)

**摘 要:** 传统冲击锤桩机在复杂地层的施工过程中, 存在施工难度大、施工效率低, 极易发生塌孔的问题。以杭州某工程为背景, 比较了冲击锤桩机、气动潜孔锤钻桩机的优缺点, 结果表明气动潜孔锤与螺旋钻机组合技术具有成孔钻进速度快、成孔效率高、钻孔深度大、成孔质量高等优点, 能够有效解决塌孔、钻进效率低、成渣厚、泥浆多等施工难题, 可为施工类似地层的桩基施工提供技术参考。

**关键词:** 气动潜孔锤; 螺旋钻机; 桩基础; 复杂地层

中图分类号: TU74 文献标识码: A 文章编号: 2096-7195(2020)03-0255-05

## Application of the combined technology of the pneumatic DTH hammer and auger drill in complex strata

MEI Xian-zhong, HUANG Jun, ZHANG Ya-yun, WANG Neng-liang, WU Ge  
(Zhejiang Construction Engineering Group Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** There are problems that are encountered in the pile construction when using the traditional impact hammer pile driver in complicated strata. Some of them include the construction difficulties, low construction efficiency, and sometimes the hole collapse is prone to occur. Based on a project in Hangzhou, the advantages and disadvantages of the impact hammer pile driver and the pneumatic DTH hammer pile driver are compared. The result shows that the combined technology of the pneumatic DTH hammer and auger drill has the advantages of fast speed, high efficiency, large depth, high quality, etc. It can effectively solve the construction problems of hole collapse, low drilling efficiency, thick slag and much mud. This also can provide technical references for pile construction in similar strata.

**Key words:** pneumatic down-the-hole pipe hammer; auger drill; pile foundation; complex strata

## 0 前 言

复杂地层钻进与取样问题一直是地矿勘探、工程勘察和工程施工中的主要技术难题。所谓复杂地层, 是指难钻地层, 即是指钻进、护孔、取芯、控制孔斜等方面困难的地层。随着城市化进程的不断推进, 越来越多的桩基础要在地下水位高、土体原位性能极不均匀、岩体强度极高的复杂地层下施工。复杂地层钻进与取样技术水平直接关系到工程的成本、安全性、经济效益, 因此开展复杂地层条件下桩基础施工工艺研究、为类似地质情况的桩基础施工积累经验及提供参考具有十分重要的意义。

笔者以杭州某物流仓储灌注桩基础项目为背景, 探究了气动潜孔锤配合螺旋钻机钻进成孔作业, 解决了桩基础需要穿透回填夯实杂填土层、块石填土层、中等风化凝灰岩的桩基成孔技术难题。

## 1 工程概况

年产 500 万套物料搬运设施设备项目位于杭州市余杭区仁和街道临港路以西、燕湾路以北。项目由 A1~A6 共 6 幢 2 层丙类厂房、坡道及平台、配套楼等组成, 单个厂房占地面积约为 11 000 m<sup>2</sup>。桩基工程采用钻孔灌注桩, 桩长 6~12.5 m, 桩径为

650 mm、1 000 mm, 桩身混凝土强度等级为 C40。钻孔要求灌注桩全断面进入中等风化凝灰岩深度  $\geq 1.5 D$  (桩径), 实行桩长与入岩双控。

## 2 工程地质情况

本项目表面覆盖层为新近回填土, 其成份多以砂质粉土夹黏性土为主, 回填时间小于 1 年, 回填深度最大为 8.3 m, 已夯实。中部为块石填土层, 其成分多以块石、碎石为主, 其中块石、碎石含量约占 60%, 角砾含量约占 15%, 余为黏性土。下部为中等风化凝灰岩, 锤击不易碎, 强度较高, 岩体较完整, 属坚硬岩。场地地下水水位埋深较浅, 因表层填土多由粗颗粒组成, 中部块石填土层多块石、碎石, 岩石间隙较大, 因此场地富水性和透水性均较好, 水量较大。(典型地质剖面图见图 1)。

工程名称		中国智能骨干网杭州仁和项目一桩一勘工程				工程编号		DKF18KC203	
孔号	SZK71	钻孔深度	13.00	X坐标/m	506 527.70	开工日期	2018.03.26		
孔口高程/m	2.81	稳定水位	0.90	Y坐标/m	3 371 013.57	竣工日期	2018.03.26		
成因时代	地层编号	地层名称	层底标高	层厚	岩层剖面比例尺 1:100	岩性	取样位置 /m	标贯击数	
Q <sub>4</sub> <sup>ml</sup>	I <sub>3</sub>	素填土	7.00	4.19		素填土: 黄褐色、灰黄色, 松散, 湿, 为新近填土。其成分多以角砾为主, 角砾含量约占 60%, 其中块石、碎石含量约占 20%, 余为黏性土。粒径一般在 2~40 mm 之间, 个别颗粒粒径大于 100 mm。			
	I <sub>31</sub>	块石填土	8.00	5.19		块石填土: 灰色, 松散, 湿, 为新近填土。其成分多以块石、碎石为主, 其中块石、碎石含量约占 60%, 角砾含量约占 15%, 余为黏性土。粒径一般在 40~90 mm 之间, 个别颗粒粒径大于 150 mm。			
J3	10 <sub>3</sub>	凝灰岩	13.00	10.19		中等风化凝灰岩: 青灰色, 结构构造清晰, 结构部分破坏, 沿节理面有次生矿物, 凝灰质结构, 块状构造, 风化裂隙较发育, 岩芯多呈短柱状, 局部呈碎块状, 锤击不易碎, 强度较高, 岩体较破碎, 属坚硬岩, 岩体基本质量等级为 III 级。			

图 1 典型地质剖面图

Fig. 1 Typical geological profile

## 3 施工工艺的选取

项目建设场地地质条件复杂, 砂质粉土回填土厚度深, 中部块石填土层以及下部中等风化凝灰岩强度较高, 地下水位埋深较浅、透水性好、水量较大。采用普通旋挖钻机在钻孔灌注桩基施工时面临卡钻、倾斜、塌孔等技术问题; 块石填土层中块石、碎石形成的空洞在桩基混凝土灌注过程中会造成大量混凝土外漏; 中等风化凝灰岩持力层强度较大, 普通旋挖钻机钻进效率可能受影响。

针对上述施工的技术难题, 考虑中等风化凝灰岩持力层破碎的可行性, 项目部通过采用不同的施工工艺进行现场试桩试验: (1) 冲击锤成桩施工工艺(图 2); (2) 气动潜孔锤配合螺旋钻机(图 3)。



图 2 冲击桩机

Fig. 2 The impact hammer pile



图 3 气动潜孔锤和螺旋钻机

Fig. 3 The pneumatic DTH hammer and auger drill

根据地质勘察报告中 A1 库地质条件, 选取地质情况接近的 2 个试桩(SZ-1、SZ-2), 分别采用冲击锤成孔、气动潜孔锤配合螺旋钻机成孔。

SZ-1 试桩采用冲击锤成孔施工中, 冲击桩机在钻进回填砂质粉土过程中进尺效率低下, 钻进回填土层共耗时长达 25 h, 钻进基岩段虽可碎石但施工时长达 9.5 h。从取得的结果看, 采用该工艺的 SZ-1

试桩达到了预定的孔深,但冲击桩机的优点没有得到发挥,同时在施工过程中产生大量泥浆,对强夯场地影响较大且外运成本较高,成孔孔底沉渣厚度较厚远大于设计要求  $\leq 50$  mm,清孔成本较高。鉴于 SZ-1 号试桩表层回填土钻进施工进尺效率低下的情况, SZ-2 号试桩表层回填土钻进采用螺旋钻机取土方式,待表层土取完后使用气动潜孔锤桩机进行钻进块石填土层及基岩段施工。该组合工艺灵活性好,不用拆换钻具可一次性满足成孔作业,适应性强、稳定性好,施工过程效率较高、成渣满足设计要求。2 根试桩 SZ-1, SZ-2 钻进效率见表 1。

#### 4 主要设备选型

根据本项目桩径、桩长及地质情况等条件选择机架。对于  $\Phi 650$  桩型,选择浙江八达工程机械有限公司生产的步履式桩机机架 (ZJB160)。对于  $\Phi 1\ 000$  桩型,选择山东省地质探矿机械厂生产的 LGZ-40 履带式桩机机架。下面以 ZJB160 为例 (见图 4)。

冲击器选用潜孔锤冲击器: DW-420 型 (完成 650 桩基成桩), 潜孔钻头  $\Phi 637$  mm 各 1 套。

潜孔锤冲击器: DW-640 型 (完成 1 000 桩基成桩), 潜孔钻头  $\Phi 937$ 、1 037 mm 各 1 套。

根据跟管钻具在正常工作条件下的风量、风压、扭矩、钻数等参数的要求,空压机采用电动和柴油两种,电动采用 TWT1070E-24T 型,柴油采用 LUY310-25GII 型。

每台空压机能提供 3.1 MPa 压力,5 台套 (2 台电动、3 台柴油驱动);  $\Phi 650$  桩,1 台电动及 1 台柴油驱动发电机配合使用;  $\Phi 1\ 000$  桩,2 台电动及 3 台柴油驱动发电机配合使用。为潜孔锤提供空气动力,用来适应不同土层以及深度的钻孔动力要求。

主要施工机械设备及数量如表 2 所示。

#### 5 施工流程和方法

根据现场实际地质情况同时确保成桩质量,确定成桩施工流程及质量控制方法如下:

##### 5.1 施工流程

测量定位—埋设孔口定位护筒—取土桩机就位成孔至基岩顶碎石层—长护筒及潜孔锤钻机就位—钻孔—钢筋笼安放—水下混凝土灌注—一起拔套筒—混凝土补灌

##### 5.2 施工方法

(1) 测量定位、埋设定位短护筒

工程测量以甲方提供的基准点为准并进行经

表 1 钻进效率  
Tab. 1 Drilling efficiency

地质分布	层厚/m	桩号			
		SZ-1		SZ-2	
		钻进时长/h	钻进效果	钻进时长/h	钻进效果
杂填土层 (0~5.5 m)	5.5	25	非常缓慢, 泥浆较多	0.3	快
块石填土层 (5.5~7 m)	1.5	1.5	一般, 成渣较厚	0.2	较快
中等风化凝灰岩 (7~8.5 m)	1.5	8	一般, 成渣较厚	0.3	较快

表 2 主要施工机械设备参数  
Tab. 2 Parameters of main construction

序号	机械设备名称	型号	主要技术参数 (用电量)	数量	用于施工部位
1	步履式潜孔锤桩机	ZJB-160	75 kW×2	1 台	成孔
2	履带式潜孔锤桩机	LGZ-40	218 kW	1 台	成孔
2	跟管锤头	650	—	2 只	成孔
3	跟管锤头	1 000	—	2 只	成孔
4	取土桩机	—	—	1 台	取上部土
5	电动空压机	特沃特 TWT1070E-24	250 kW	3 台	成孔
6	柴油空压机	LUY310-25GII	—	3 台	成孔
7	高压储气罐	5 立方	—	1 只	成孔

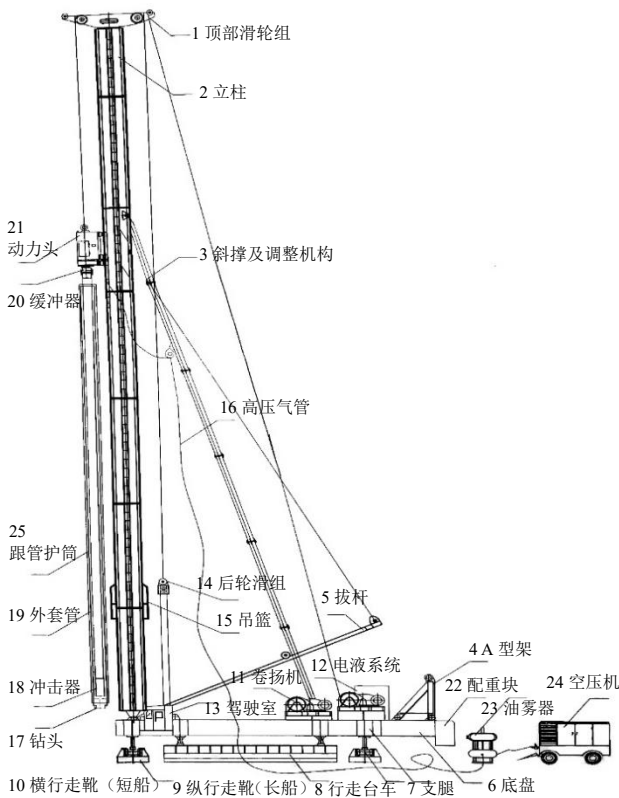


图4 施工机械设备

Fig. 4 Construction equipments

常性复核。测量定位选用全站仪，放样桩位中心后先用插拔机插入定位短护筒，对长护筒成孔全过程垂直度控制，定位护筒高于自然地面0.5~1.0 m。桩位放样允许偏差不得大于10 mm。

#### (2) 取土桩机就位取土施工

定位短护筒埋设完成后，取土桩机就位对上部松散软土层进行取土施工，直至取土钻机取不动至基岩顶面或碎石层，取土钻机移位。

#### (3) 桩基就位、钻进及全护筒跟管

钻机就位前需保证钻机停放位置坚固平稳，如场地不能满足钻机平稳要求，应采用铺设钢板等辅助措施予以保证，以保证钻孔过程中桩机稳定。钻机按指定位置就位后，调整桩架位置，确保桩位中心线、护筒中心点、潜孔锤中心点“三点一线”。护筒安放过程中，其垂直度可利用互相垂直的两个方向吊垂直线的方式校正。潜孔锤吊放前，进行表面清理，防止风口被堵塞。

潜孔锤桩机就位，先将钻具（潜孔锤钻头、钻杆）提离孔底20~30 cm，全护筒跟进，开动空压机、钻具上方的回转电机，待护筒口出风时，将钻具轻放至孔底，开始潜孔锤钻进作业。潜孔锤启动后，其底部的4个均布牙轮钻啮外扩并超出护筒直径，随着破碎渣土或岩屑吹出孔外，护筒紧随潜孔

锤根管下沉，进行有效护壁。钻进过程中，从护筒与钻具之间间隙返出大量钻渣，堆积在孔口附近并及时进行清理。

钻孔钻至要求深度后即终止钻进。终孔前，根据设计桩长及地勘资料严格判定入岩岩性和入岩深度，以确保桩端持力层满足设计要求。终孔后，将潜孔锤提出孔外，桩机可移除孔位进行下一根桩的施工。用测绳从护筒内测定钻孔深度，以便钢筋笼加工。

#### (4) 钢筋笼制作与安装

根据成孔深度进行钢筋笼制作，钢筋笼制作时注意同一截面接头数不超过50%主筋根数；钢筋主筋及加强箍筋焊接焊缝平直饱满，焊缝长度符合规定要求；钢筋笼安放时保持垂直状态对准孔口缓缓放下，避免碰撞孔壁；笼顶标高允许误差±10 cm，笼顶标高采用钢筋定位，严防钢筋笼位移。钢筋笼保护层用钢筋头，焊接在钢筋笼加强筋上，由于受跟管钢护筒内径限制保护层厚度控制在20~30 mm之间。

#### (5) 水下混凝土灌注

混凝土必须符合设计及规范要求，混凝土塌落度应控制在 $180 \pm 20$  mm并具有良好的和易性、流动性，现场检验混凝土塌落度，不合格要求的混凝土不得用于本工程。先灌注砂浆后浇筑混凝土。

混凝土灌注方式根据现场条件，采用混凝土灌车出料口直接下料，或者采用灌注斗吊灌。在灌注过程中，及时拆卸关注导管，保持导管埋置深度在2~4 m之间。在灌注混凝土过程中，不时上下提动料斗和导管，以便混凝土能顺利下入孔内。灌注混凝土至孔口并超灌1 m后，及时拔出灌注导管。

#### (6) 振动锤起拔护筒、混凝土补灌

护筒用振动锤起拔，振动锤型号根据护筒长度，选择相应激振力范围的振动锤作业。振动锤起拔护筒焊接接口至孔口1 m左右时，停止振拔，观察护筒内混凝土面位置，因为随着护筒起拔和振动，会使桩身混凝土密实；同时，底部护筒上拔后，混凝土会向四周扩散，造成护筒内混凝土面下降，此时需及时向护筒内补充相应量的混凝土。重复以上操作，直至拔出最后一节护筒。

## 6 成桩效果

该工程桩基采用气动潜孔锤配合螺旋钻机施工，成孔钻进速度快、成孔效率高、钻孔深度大、

桩位中心偏差可控,全护筒成孔质量高。经过杭州宇振检测有限公司的检测,A1~A6库及坡道平台和配套楼共1326根桩,经过低应变检测,1324根桩为I类桩,2根桩为II类桩,静载试验实测单桩承载力也均满足设计要求。

## 7 结 语

在本次工程的气动潜孔跟管锤配合旋转取土机成桩工艺的桩基施工中,取得了很好的成效,但也有相对的问题存在,对此作出以下两点总结:

(1)大直径气动潜孔锤配合螺旋钻机成桩工艺,解决了钻进复杂地层及塌孔的施工难题,该施工技术应用于桩基工程施工中,具有节约成本,缩短工期,保证质量等优点,值得在复杂地层桩基施

工中进行推广。

(2)气动潜孔锤在钻进过程中,伴随着粉尘飞扬、噪音大等问题,对周边环境影响较大。如果项目周边为居民区、市区,采用该技术时应对上述问题进行充分的考虑并采取有效的措施加以防范。

## 参考文献

- [1] 刘伟,苏波,邓树密. 气动潜孔锤配合长螺旋钻机在复杂地层桩基施工中的应用[J]. 四川水力发电, 2016, 35(6): 88-91.
- [2] 李西. 建筑工程冲击成孔灌注桩桩基施工质量对策分析[J]. 山西建筑, 2018, 44(2): 78-80.
- [3] 李从保. 气动潜孔锤冲击碎岩影响因素及数值模拟分析[D]. 成都: 成都理工大学. 2013.

## 【简讯】

### 第二届地下空间开发和岩土工程新技术发展论坛（一号通知）

为促进地下空间开发与岩土工程新技术的学术交流,推动行业技术发展,第一届地下空间开发和岩土工程新技术发展论坛于2019年10月在南京召开。300余位来自全国各地高校企业单位的专家学者及工程技术人员出席第一届论坛,会议期间参会人员交流踊跃,学术讨论氛围浓厚。本着科学、严谨、务实的办会理念,大会组委会商议决定于2020年9月在浙江省杭州市召开第二届地下空间开发和岩土工程新技术发展论坛,同期将介绍岩土工程新技术、新设备。欢迎全国岩土行业同仁积极参加!

#### 一、会议主题

- (1) 地下空间开发利用中的岩土工程勘察、设计、施工、监测问题;
- (2) 大规模地下空间、隧道等施工和运营中的岩土工程问题;
- (3) 轨道交通工程施工和监测领域的新技术、新工法和新设备;
- (4) 复杂基坑、基坑群工程设计理论与实践及其新进展、行业的发展趋势;
- (5) 地下空间建造和运维的信息化新技术;
- (6) 地铁、隧道、综合管廊、地下商城等设

施的防水、防腐关键技术。

#### 二、会议时间、地点

会议时间: 2020年9月(具体日期二号通知确定)。

会议地点: 浙江省杭州市(具体地点二号通知确定)。

#### 三、论坛组织

主办单位:

中国建筑学会工程勘察分会

中国建筑学会地下空间学术委员会

浙江省城市地下空间开发工程技术研究中心

杭州考通网络科技有限公司、岩土网

(www.yantuchina.com)

#### 四、会务组联系与报名

中国建筑学会工程勘察分会/中国建筑学会地下空间学术委员会

联系人: 徐前 电话: 010-64013366-504

Email: xuq@cigis.com.cn

杭州考通网络科技有限公司、岩土网

联系人: 倪虹群 电话: 13588371227

邮箱: bianji@yantuchina.com

电话: 0571-89719830