

潜孔冲击高压旋喷桩工法设备

唐恒森, 张有祥, 刘宏运, 王沙沙, 郇盼, 李林洋
(北京荣创岩土工程股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 潜孔冲击高压旋喷工法设备创新性地将潜孔冲击工艺与高压旋喷工艺进行了结合, 首创“高压水(浆)、高压气、高频振动冲击、微气爆”的联动工作机理, 形成垂直度好、直径大、强度高的水泥土桩。突破了传统工法在地层应用范围的局限性, 有效克服在砂卵石层、岩溶、开山填谷等复杂地层施工水泥土桩及水泥土复合管桩的难题。实现一次性成孔成桩, 大幅提升施工效率和成桩质量, 节约材料和成本。

关键词: DJP 工法; 潜孔锤; 高压旋喷; 复杂地层

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)01-0078-05

作者简介: 唐恒森(1993-), 男, 山东聊城人, 本科, 工程师, 主要从事岩土工程的研究工作。E-mail: 237605393@qq.com。

The equipment of down-the-hole percussion high pressure jet grouting pile construction method

TANG Heng-sen, ZHANG You-xiang, LIU hong-yun, WANG sha-sha, HUAN Pan, LI lin-yang

(Beijing Rongchuan Geotechnical Engineering Co.,Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: The equipment of down-the-hole percussion jet grouting construction method has innovatively combined down-the-hole percussion technology with jet grouting technology, initiating the linkage working mechanism of "high pressure water(pulp), high pressure gas, high frequency vibration impact and micro gas explosion", forming cement and soil piles with good perpendicularity, large diameter and high strength. It breaks through the limitation of the traditional engineering method in the application scope of the stratum, effectively overcomes the difficult problem of the construction of soil-cement pile and soil-cement composite pipe pile in sand and pebble bed, karst, mountain, valley, and other complex stratum. It realizes once hole formation and once pile formation, greatly improves the construction efficiency and pile formation quality, and saves material and cost.

Key words: DJP construction method; down-the-hole hammer; high pressure jet grouting; complex stratum

0 引言

现今城市建设快速发展, 向山地和近海拓展, 由此形成的高厚块石填土地基给工程建设提出了新的难题, 如沿海地区的开山填海或山区的岩溶地层及削山填谷等形成场地, 存在大量的大颗粒块石, 且孔隙率大、均匀性差。针对此类复杂地层, 传统的施工方法需要先采用潜孔锤引孔, 再进行旋喷, 形成旋喷桩, 在此基础上可通过旋喷桩软化地层后植入预制桩, 形成桩基础或刚性复合地基。此类工艺施工速度慢、效率低, 容易发生塌孔事故。为此, 从设备、工艺等多个角度进行综合研究, 将潜孔锤成孔和高压旋喷有机结合在一起, 实现钻进喷浆一体化, 形成了一套可以在任何复杂地层中施工水泥土桩及装配式桩基础的施工设备-潜孔冲击高压旋喷工法设备, 本工法简称 DJP 工法, 可大大

提高效率和工程质量, 并能够解决传统工法所存在的诸多问题。

1 DJP 工法设备介绍

DJP 工法设备机械部分包括钻机机架、钻杆组合结构、喷浆系统、钻头(冲击器)、空压机和供气管路、高压泵和高压管路、自动化制浆系统等。钻机机架为长螺旋的钻机机架, 由于需要在岩层、抛填层中成孔, 且需承受潜孔锤的动力作用, 因此配用强度和刚度较高的石油钻杆。钻杆连接至钻机机架顶部动力装置, 由动力头提供动力向下钻进。潜孔锤与钻杆下端连接, 由空压机提供工作动力向下钻进, 高压气体通过高压气管传输给潜孔锤。旋喷装置设置于钻杆和潜孔锤之间, 或潜孔锤钎头附

近, 高压水、浆通过设置在钻杆内部的高压管路到达喷嘴向外喷射。由此可形成在任何复杂地层中施工水泥土桩及装配式桩基础的施工设备, 见图 1。

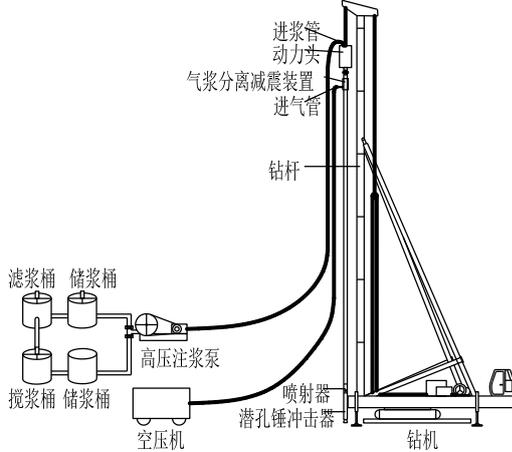


图 1 DJP 工法设备

Figure 1 Equipment of DJP construction method

(1) 钻机机架

钻机机架采用长螺旋的钻机机架, 机器行走部分采用液压步履式, 打桩时 360° 回转, 没有死角。机架稳定性好、架身高、动力强、导向性、钻杆刚度大、效率高。有液压支腿以辅助行走及回转并增加施工时的整机稳定性。提拔力 640~1000 kN, 扭矩力 50~500 kN·m。立柱为可折叠式箱型立柱, 法兰连接方式, 由液压缸控制其起降, 如图 2。

(2) 钻杆组合结构

钻杆采用石油钻探钻杆, 钻杆的外径为 90~650 mm, 钻杆刚度强, 采用带密封的锥丝连接, 导向性好, 坚实耐用。钻杆组合结构由上而下包括同轴串接的钻机动力头、气浆分离减震装置以及钻杆, 气浆分离减震装置设有进气口, 高压空气管路与该进气口相连; 高压注浆管路连接到长螺旋钻机动力头, 高压水、浆管路由喷浆系统喷出, 如图 3。

(3) 喷浆系统

喷浆系统连接至置钻杆内部的喷浆管路下端, 喷射器侧壁开设有与中心浆液管相连通的侧向浆液喷口, 其中喷嘴数量为 1~2 个, 直径 1.5~4.5 mm, 根据地层环境及工程要求进行调整, 用以喷射水及水泥浆液。并设环形喷嘴, 以喷射添加剂, 与水泥浆液完成孔口混合。

(4) 潜孔冲击器

潜孔冲击器设置在钻杆的底端, 常用冲击器有 6 英寸、12 英寸、14 英寸、18 英寸, 所需风压为 0.8~2.1 MPa, 风量为 8.5~80 m³/min。同样地, 根据所需成孔直径及桩径的大小, 选择适当型号的冲击器。



图 2 DJP 钻机

Figure 2 Drilling rig of DJP

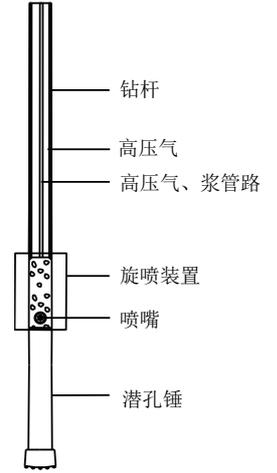


图 3 钻杆结构示意图

Figure 3 Schematic diagram of drill pipe structure

(5) 其他设备

后台配备自动化制浆设备, 配比准确, 方便快捷, 自动化程度高, 并采取多重过滤, 避免了喷嘴堵塞问题。高压注浆泵可将过滤后的高压水、水泥浆以及添加剂按照设计压力输送至高压注浆管路, 压力为 1~40 MPa。空压机为工程建筑领域常用设备, 本工法中主要采用 PDS 系列柴油移动式螺杆空压机, 常用型号为 J750 型与 J1050 型。如图 4。



a. 自动化制浆设备

b. 高压注浆泵



c. 空压机

图 4 DJP 工法配套设备

Figure 4 The auxiliary equipment of DJP construction method

通过各组件有机结合, 形成一套完整的钻进喷浆系统。利用位于钻杆下方的潜孔锤冲击器在钻进过程中产生的高频振动冲击作用, 结合冲击器底部喷出的高压空气对土体结构进行破坏, 同时结合冲击器上部高压水、高压水泥浆射流切割土体; 在高压水、高压气、高频振动的联动作用下形成直径较大、混合均匀、强度较高的 DJP 水泥土桩。

2 DJP 工法施工工艺

DJP 工法将潜孔冲击工艺与高压旋喷工艺等进行了有机结合,在成桩的不同阶段,各工艺侧重不同。在成孔阶段,潜孔锤在高压空气驱动下开始产生冲击效能;同时,由高压泵向喷嘴提供高压水,冲击器上部喷嘴喷射高压水流切割软化四周的土体;此外,结合潜孔锤产生的高压尾气作用,在锤底空间内产生“微气爆”效果,软化土体的范围可进一步扩大,此阶段重点发挥潜孔锤的冲击引孔功能,旋喷工艺起辅助作用。成孔至设计标高后,向上提钻杆,高压水切换为高压水泥浆,高压浆与已成流塑或液化状态的土体充分搅拌、混合,结合锤底喷射的高压气加大搅拌混合力度,从而形成均匀的旋喷桩,其效果比常规工艺施工的旋喷桩更好,此阶段主要是发挥旋喷工艺,此阶段潜孔冲击工艺为辅助作用。形成旋喷桩后,根据需要采用静压桩机或锤击桩机同心植入预制管桩,形成 DJP 复合预制桩。DJP 工法施工工艺流程图,见图 5。

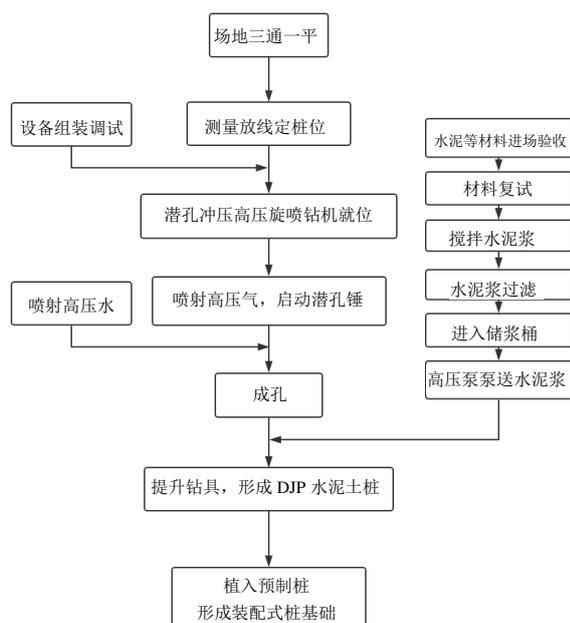


图 5 DJP 工法施工工艺流程图

Figure 5 Flow chart of technological process for DJP construction method

3 设备及工艺技术特点

(1) 钻进喷浆一体化,工序简化一半,工效提升一倍以上

现有其他旋喷工艺,在岩溶、开山填海等复杂地层中,均需先引孔,且引孔难度大、极易塌孔、工效较低且无法保证成桩质量。而潜孔冲击高压旋喷技术通过潜孔锤与喷射器有机结合,可同步解决

复杂地层条件下的钻进与喷浆成桩难题,即钻进、喷浆一体完成,工序减少一半,工效提升一倍以上。

(2) 较大地拓展了预制桩的地层适用范围

采用潜孔冲击旋喷技术进行施工工程桩,可在解决施工难题的同时,节约造价。在巨厚块石填土、密实粉土和砂土、碎石土、残积土、风化岩以及岩溶等地层中,采用潜孔锤成孔,高压旋喷形成大直径水泥石外桩,保证入岩质量与深度,再同心植入预制桩,形成桩基,由此可解决成孔难题。并可消除普通灌注桩可能出现的缩颈、离析、桩底沉渣等问题。相较普通预制桩,也有利于桩身的植入与抗腐蚀性,能充分发挥预制桩的优势,又符合国家的绿色装配式建筑发展的趋势,扩大了预制桩的应用范围。

(3) 旋喷桩成桩质量具有显著优势

旋喷桩成桩质量最关键的影响因素主要是成孔垂直度和成桩直径,在垂直度的改进方面,DJP 工法设备采用上下双动力进行钻进,潜孔锤牵引导向性可保证施工过程中的垂直度不断修正,钻杆刚度大,钻机自稳能力强,垂直度偏差可控制在 $\pm 0.5\%$,且钻进过程中喷射的水流与提升过程中喷射的浆液均压力较高,可充分切削土体,加之高压气聚集形成的微气爆,从而形成大直径、均匀性较好、高质量的水泥石固结体。

(4) 节约材料、减少环境影响

DJP 工法的基本原理为加固而非置换,水泥浆可充分充填到地基土中,水泥利用率高于其他旋喷工艺,返浆量得到有效控制,可显著降低水泥用量,节约造价;同时,减小废弃水泥浆的排放,降低对环境的影响和后续的二次处理费用。

4 应用效果

4.1 DJP 旋喷水泥石桩

湖北某抛填石地区,典型地层及与 DJP 水泥石桩的相对关系见图 6。施工参数如下:冲击器型号为 DHD 360,钎头直径 178 mm,空压机的风压 0.8~2.1 MPa、风量 8.5~25 m³/min,水压 ≤ 25 MPa,水泥石外桩直径 1000 mm、浆压 ≥ 30 MPa,旋转速度 18~21 转/min,提升速度 22~30 cm/min。压桩曲线见图 7,沉降曲线平滑,达到极限承载力时沉降为 5.7 mm,满足设计的承载力、沉降要求,质量良好。DJP 水泥石桩开挖及取芯效果见图 8。

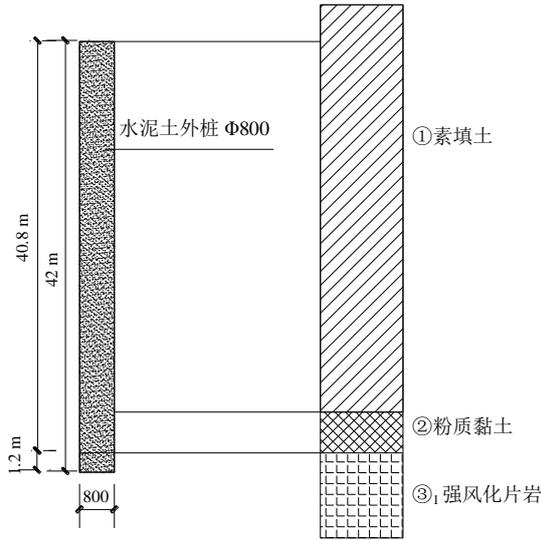


图6 工程地质剖面图

Figure 6 Engineering geological section

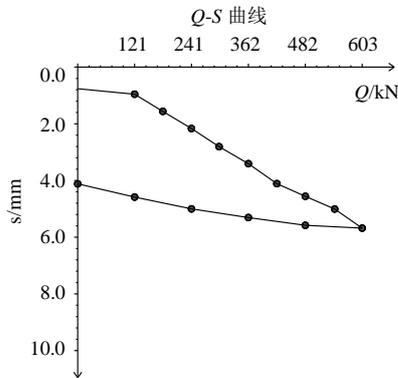


图7 单桩静载荷试验曲线

Figure 7 Static load test for single pile



图8 DJP 水泥土桩开挖及取芯效果

Figure 8 DJP soil-cement pile excavation and coring

4.2 DJP 复合管桩

云南某岩溶地区, 典型地层及与装配式桩基础的相对关系见图 9。施工参数如下: 冲击器型号 TH14, 钎头直径 600 mm, 空压机的风压 0.8~2.1 MPa、风量 70.3 m³/min, 水压 ≤5 MPa, 水泥土外桩直径 600 mm、浆压 ≥10 MPa, 旋转速度 18~20 转/min, 提升速度 0.4 m/min。压桩曲线见图 10, 承载力和沉降曲线成线性关系, 达到极限承载力时沉降为 11 mm, 且沉降回弹量占总沉降的 45%, 表明桩身承载力、沉降满足要求, 桩身质量良好。DJP

复合管桩开挖效果见图 11。

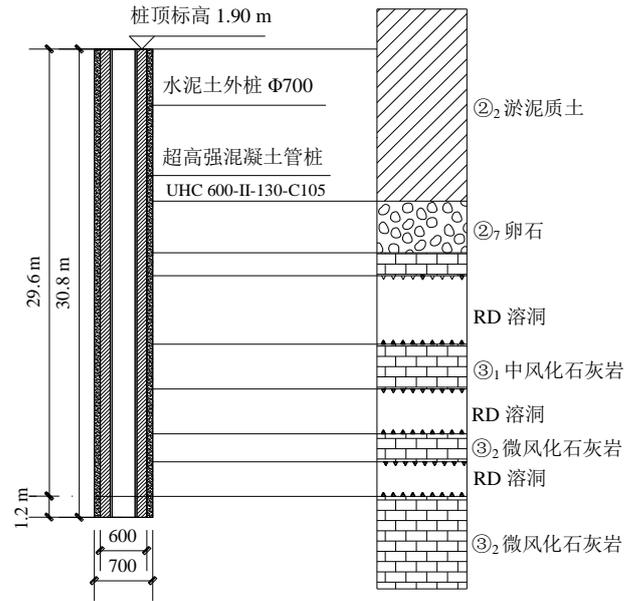


图9 工程地质剖面图

Figure 9 Engineering geological section

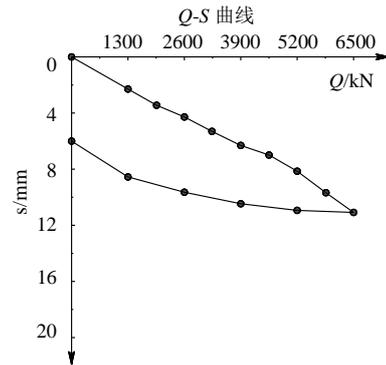


图10 单桩静载荷试验曲线

Figure 10 Static load test for single pile



图11 DJP 复合管桩开挖效果

Figure 11 Excavation section of DJP composite pipe pile

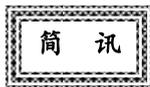
5 结 语

DJP 工法设备创造性地将潜孔冲击工艺与高压旋喷工艺有机结合, 形成一种新型潜孔冲击高压旋喷工法技术。通过工程实践证实该工法取得了良好的效果, 有效解决了在砂卵石层、岩溶、开山填谷等复杂地层施工水泥土桩及水泥土复合管桩的难

题。且为解决预制桩在地层复杂地区的应用问题提供了一种新思路,较大地拓展了预制桩的适用范围,并具有节约材料和成本、施工质量高、绿色环保等特点。

参考文献:

- [1] 毛宗原,张亮,刘宏运.人工填海复杂地层止水帷幕新工艺研究[J].地下空间与工程学报,2015,11(S1):223-226.
- [2] JGJ 120-2012 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [3] 张亮,朱允伟,李楷兵,等.潜孔冲击高压旋喷桩工法原理及特性研究[J].施工技术,2017,46(19):59-62.
- [4] 张亮,彭森林,朱文学,等.潜孔冲击高压旋喷桩的施工工艺和设备:CN 102322058[P].2012.01.18.
- [5] 徐中华,王卫东.敏感环境下基坑数值分析中土体本构模型的选择[J].岩土力学,2010,31(1):258-264.
- [6] Potts D M, Mair R J. Finite element analysis in geotechnical engineering: application[M]. London: Thomas Telford, 2001.
- [7] 邵羽,江杰,陈俊羽,等.基于HSS模型与MCC模型的深基坑降水开挖变形分析[J].水利学报,2015(S1):231-235.
- [8] 管飞.基于HSS本构模型的软土超大型深基坑3D数值分析[J].岩土工程学报,2010,32(S1):177-180.
- [9] 王浩然.上海软土地区深基坑变形与环境影响预测方法研究[D].上海:同济大学,2012.



第29届全国土工测试学术研讨会通知 (2020年7月18~19日,呼和浩特)一号通知

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会,中国水利学会岩土力学专业委员会拟定于2020年7月在呼和浩特召开“第29届全国土工测试学术研讨会”,会议主题:“岩土工程勘察技术及土工测试新技术、新方法”。中国土木工程学会土力学及岩土工程分会,中国水利学会岩土力学专业委员会邀请全国相关学科的专家、学者、科技工作者与工程技术人员,特别是青年岩土工程工作者踊跃撰稿,集聚呼和浩特,围绕会议主题探讨与交流土工测试最新研究成果与实践经验。

会议要点:

本次学术研讨会组织委员会、学术委员会由承办、协办单位,学会专委会专家组成。会议将邀请国内著名土工测试专家进行特邀报告和主题报告,并进行新编《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019)宣贯。

会议专题:

①岩土工程勘察技术;②土基本性质测试;③土工物理模型试验;④土工原测试技术;⑤现场土工监测技术;⑥环境土工测试技术;⑦特殊土性质测试技术;⑧土工微细观测试新技术;⑨土工测试新型技术设备。

主办单位:

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会,中国水利学会岩土力学专业委员会。

承办单位:

内蒙古工业大学,等。

协办单位:

《岩土工程学报》编委会,等。

会议论文与出版:

会议投稿论文要求为原创、未公开发表的内容,论文篇幅一般在5页以内,格式请参考《岩土工程学报》。会议期间将通过投票遴选优秀论文推荐到《岩土工程学报》(增刊)(EI收录)、《地下空间与工程学报》、《内蒙古农业大学学报》、《内蒙古科技大学学报》、《内蒙古工业大学学报》其他论文将在论文集中刊出。

投稿邮箱: geotest2020@163.com。

会议联系方式:

联系人:刘俊芳:18647964316;

杜强:15560924010;

马建国:18847187706。

地址:内蒙古呼和浩特市新城区爱民街49号内蒙古工业大学土木工程学院,邮政编码:010051。

(大会组委会 供稿)