



海上底部出料振冲碎石桩应用

耿光宏, 陈 健

(中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

摘要: 振冲碎石桩与周围的土体形成复合地基, 同时碎石桩作为垂直排水通道, 能够加快周围软土的排水固结, 是一种快速加固地基、节能环保的地基处理技术。但是由于施工工艺的制约, 该方法在软土地基(十字板剪切强度小于 20 kPa 的土体)以及限高条件下的应用受到制约。本文以港珠澳大桥香港口岸人工岛项目碎石桩的工程应用为例, 介绍一种新型底部出料碎石桩施工工艺, 该方法有效地保证了碎石桩在软土地基条件下的成桩质量, 同时由于该设备伸缩管等技术的应用, 成功减少了设备高度, 打破了在机场限高条件下应用的限制。

关键词: 底部出料振冲碎石桩; 软土地基; 限高条件

中图分类号: TU 472. 99 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2015)12-0178-03

Application of marine bottom-fed vibro-stone column

GENG Guang-hong, CHEN Jian

(China Harbor Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: The stone column and surrounding soil form the composite foundation, and the stone column itself can be taken as the vertical drainage body to accelerate the consolidation of surrounding soft soil. This method can improve ground in a fast and environmentally friendly way. However, because of the restriction of construction method, this method cannot be used in slurry (vane shear strength less than 20 kPa) and in height restriction condition. This article introduces a new bottom-fed vibro-stone column, which forms the stone column in soft foundation with good quality. This method also break the barrier of height restriction of airport by extension tubes to reduce the device height.

Keywords: bottom feed vibro stone column; soft ground; height restriction

香港口岸填海工程项目是港珠澳大桥项目的核心组成部分, 形成海堤全长 6 296 m, 筑岛面积 149. 68 万 m²。岛壁地基加固技术采用海上底部出料振冲碎石桩施工工艺, 上部采用格型钢板桩形成岛壁。该项目的实施向振冲碎石桩技术提出了更高标准的要求, 无论从工程规模、处理深度, 还是从地质条件、工程环境(如机场高度限制、白海豚保护、水质要求、噪声控制、空气污染、海航线限制等)都居世界前列。

本项目共实施碎石桩 4. 3 万根, 约 109 万延米, 共投入 10 条打桩船, 50 台振冲器。在该项目中, 新研制的新型底部出料配套干法振冲施工设备及相应工艺取得巨大成功, 在海上水深达到 15 m、机场高度限制的条件下振冲碎石桩最大有效桩长达到 36. 5 m, 振冲施工全过程采用自动记录控制系统, 限高条件下的伸缩导杆控制系统和底部出料料管减震器结构均处于国际领先水平。

收稿日期: 2015-06-16
作者简介: 耿光宏 (1962—), 男, 高级工程师, 从事水运工程管理和新技术推广工作。

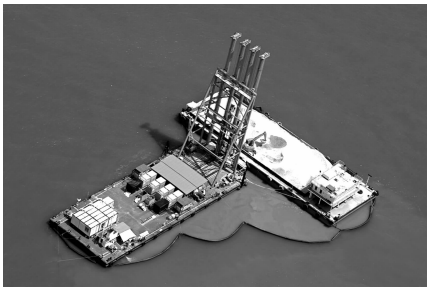


图 1 香港口岸填海工程项目碎石桩施工现场

表 1 施工范围内土体的物理力学指标

指标	密度 $d/(g\cdot cm^{-3})$			排水剪切强度				不排水剪切强度 C_u/kPa		土体压缩模量 E/MPa
	海相淤泥	冲积土	风化岩	海相淤泥	冲积土(黏土)	冲积土(黏土)	冲积土(砂)	海相淤泥	冲积土(黏土)	冲积土
设计值	1.50	1.90	1.90	$C'=4\text{ kPa}, \varphi'=24^\circ$	$C'=7\text{ kPa}, \varphi'=26^\circ$	$C'=3\text{ kPa}, \varphi'=30^\circ$	$C'=0\text{ kPa}, \varphi'=35^\circ$	$C_u=1+1.1Z$	$C_u=2+1.3Z$	$E=0.9Z-1$

注：Z为厚度。

表 2 平均海面高程、涨潮时平均高水位和退潮时平均低水位

年份	平均海面 高程/m	涨潮时 平均高水位/m	退潮时 平均低水位/m
1982—1999	1.2	2.1	0.3

表 3 波浪条件

项目	浪高/m	波浪周期/s	备注
正常情况	0.8~1.0	2~3	主要由风产生
极端情况	2.5~3	3~4	主要由飓风产生。波浪周期所有海上工程需要停止及执行防护措施

1 碎石桩施工范围内的水文、地质条件

现场海床高程从 -2.5 m 到 -10 m 不等，海水深度普遍在 4~12 m，水下是 11~28 m 非常软的海相淤泥层，淤泥层下才是较好的冲积土层（冲积黏土层和冲积砂土层）。土层强度指标见表 1。施工范围内的水文条件见表 2 和 3。

2 限高条件下海上底出料振冲碎石桩施工关键技术

1) 限高条件下振冲碎石桩的伸缩机构。

本项目临近香港机场，由于受到机场限高条件限制，部分施工区域要求碎石桩设备高度不能超过 35 m，而碎石桩的施工长度最长超过了 36 m。在此高度限制条件下，完成既定超长深度的振冲碎石桩，必须采用专门的措施，唯一可行的方案即是采用伸缩管技术（图 2）。纵观国内外所有伸缩管技术在大型设备中采用的除了油缸之外并不多见，尤其在振冲碎石桩导管中采用更是首屈一指。

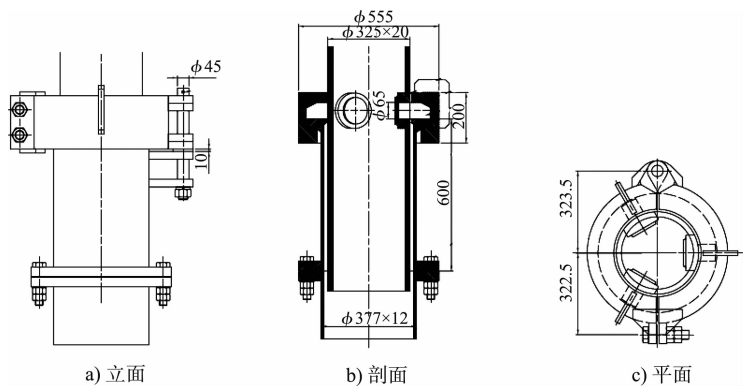


图 2 碎石桩伸缩机构结构（单位：mm）

在大型机械设备伸缩应用领域，尤其是复杂应用环境下，如建筑施工、油田钻探等行业应用中，需大量用到具有伸缩功能的大型机械设备，以满足相应复杂环境。例如在大型建筑施工中，由于地基基础要求，需完成较深桩基础，针对桩机而言，需采用伸缩方式在有限高度内延长装机施工深

度方能完成，且由于桩机本身特点，伸缩方式需抵抗较大外力、振动且耐磨并具有密封效果。本关键技术要解决的问题是提供一种伸缩机构，在外部限高条件下达到设备延长工作长度的目的。

该关键技术的伸缩机构主要包括伸缩抱箍、充气密封、插销、内销孔、转轴支架、转轴、外

管端圆环。首先在内管中植入销孔，销孔由抗压耐磨材料组成，然后在外管顶端安装外管端圆环及转轴支架、转轴、伸缩抱箍。在不需要伸缩时，伸缩抱箍处于闭合状态，由固定螺丝闭合，充气密封处于充气状态，整个伸缩机构保持密封；在需伸缩时，将充气密封进行排气处理后，拆卸伸缩抱箍固定螺丝，将伸缩抱箍分开，并提升内管至销孔位置时，将插销插入销孔，闭合抱箍并上紧固定螺丝，最后充气密封，使伸缩机构达到密封状态。

整个伸缩抱箍机构除充气密封采取橡胶材料外，其他部件皆可采用抗压、耐磨材料加工，故整个伸缩机构可承受外部较大振动及外力，且在外部环境复杂时，达到耐磨、抗损的特点。伸缩机构采取充气密封方式封闭，密封效果好，可在地下、水下等复杂环境中工作。整个伸缩过程仅需要拆卸固定螺丝及安装固定螺丝，操作简捷、高效。伸缩机构均采用简单机械加工件组成，使用过程中可随时更换各个组件，保养维修简洁，且经济效益突出。

2) 底部出料的加压振冲关键技术。
工程存在 15 ~ 25 m 厚的软弱土层，十字板强

度低于 20 kPa，如果采用传统的顶喂料水法振冲技术，碎石桩周围的土体无法提供足够的围压保证碎石桩的成桩质量，地基处理的效果会大打折扣。因此，本项目采用底出料干法振冲碎石桩施工技术。振冲器导料管带料、带压（供风）造孔至设计桩底高程后，振冲器反复上下振动，连续计量加密至设计桩顶高程。整个造孔和加密期间，孔内保持高压气，防止泥水进入导料管影响桩体的透水性。干法底部出料振冲碎石桩原理见图 3。

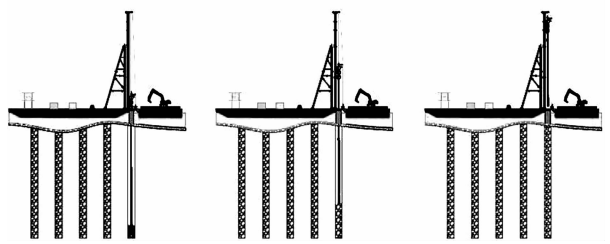


图 3 海上干法底部出料振冲碎石桩原理

根据图 4 监测结果可知，整个碎石桩在施工过程中桩体的密实度和直径都达到了设计要求，证明底部出料加压振冲技术的优越性。

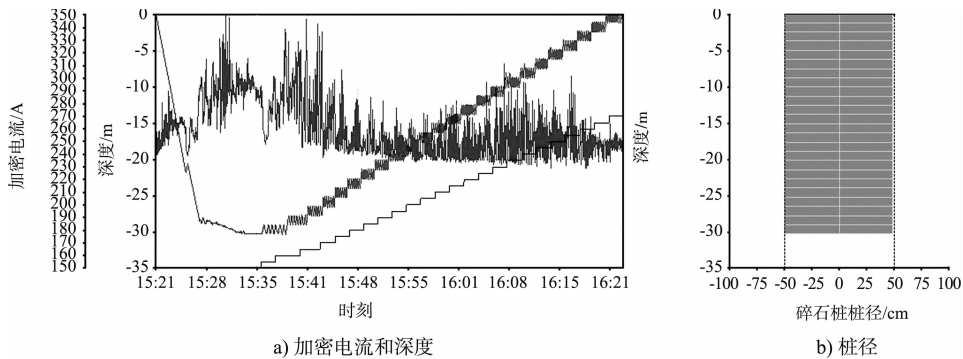


图 4 碎石桩施工过程参数

3 结论

与前人研究^[1-4]相比，限高条件下海上底部出料振冲碎石桩施工技术方案具有以下优点：

- 1) 制桩深度达到 36.5 m，不含水深，属同类海上底部出料振冲碎石桩处理深度之最。
- 2) 在机场高度限制条件下采用伸缩式导杆和导料管技术取得圆满成功。
- 3) 月完成工程量强度高，投入 5 条打桩船 20 台设备 24 h 作业，最大单船月工程量接近 7 万 m。

参考文献：

[1] 韩杰, 叶书麟. 碎石桩复合地基的有限元分析[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(9): 13-19.

[2] 傅少君, 王曼. 振冲碎石桩地基有限元分析的复合模型研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(2): 375-380.

[3] 赵永久, 焉振. 碎石桩复合地基液化判别的工程方法[J]. 山西建筑, 2010, 36(9): 76-80.

[4] 何广纳. 振冲碎石桩复合地基[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 郭雪珍)