

· 施 工 ·



强浪条件下振冲碎石桩施工工艺

孙海军, 陶 然

(中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

摘要: 以以色列阿什杜德港项目为背景, 介绍了海上振冲碎石桩的施工工艺, 结合实际施工工效对施工工艺进行评估, 并分析了强浪条件对碎石桩施工定位偏差及施工工效的影响。在外海地区, 波浪条件恶劣, 传统的振冲碎石桩施工工艺, 即方驳搭载振冲设备的施工工效偏低、作业窗口有限, 并且施工精度不高。为寻求有效克服强浪条件影响的大面积海上振冲碎石桩施工方法, 提出采用碎石桩施工专用顶升平台的解决方案。

关键词: 海上振冲碎石桩; 强浪; 工效; 顶升平台

中图分类号: TU 473; U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)01-0181-05

Stone column offshore construction under strong wave condition

SUN Hai-jun, TAO Ran

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

Abstract: Based on the construction of Hadarom port at Ashdod, Israel, this paper generally introduces the method of stone column offshore construction with the actual work efficiency, and analyzes the influence of strong wave condition on position deviation control and work efficiency. Due to the bad wave condition in open water, the traditional construction method as the vibration equipment installed on the barge can hardly meet the milestone requirement of large-scale construction, which is low work efficiency, limits operation window time, and is low construction precision. In order to overcome the wave condition influence and solve the work efficiency problem, we propose a solution as the self-elevating platform (Jack-Up) for stone column offshore construction.

Keywords: stone column offshore construction; strong wave; work efficiency; self-elevating platform (Jack-Up)

近年来, 随着港口工程海外市场逐年扩大, 在许多码头工程的防波堤建设过程中, 经常遇到周期长、波能大的强浪建港条件。外海强浪在水平方向上流动性很大, 具有相当大的能量, 并对可透浪防波堤有着极强的穿透能力, 对施工船舶的泊稳条件也有着巨大的影响。

碎石桩作为一种常见的地基处理方式, 具有施工速度快、适用性广、效果好、造价低等显著的优点, 在陆上加固软土地基施工中得到了广泛应用, 并在港口工程的地基处理中也开始逐步得到应用^[1]。

目前国内进行水上碎石桩施工最常用的施工方法: 一是先在施工范围内做好围堰, 然后按照正常陆地上的方法施工; 二是利用专用设备直接进行水上碎石桩施工。对于水深较深、面积较大的施工区域, 采用围堰的方式施工成本过大、周期过长, 因此通常都是采用专用设备直接在水上进行施工, 其中最常用的方法即通过方驳与振冲设备临时组成浮式碎石桩船进行碎石桩施工。但是由于方驳的移位需依靠锚艇或拖轮进行拖带, 精确定位需通过自带的锚机绞缆, 在强浪作用下泊稳情况较差, 工作窗口非常有限。

收稿日期: 2016-04-22

作者简介: 孙海军 (1983—), 男, 工程师, 从事基础设施建设项目工程管理。

为寻求有效克服强浪条件影响的大面积海上振冲碎石桩施工方法,对以色列阿什杜德港项目碎石桩试验区的施工数据进行统计,分析强浪条件对定位精度及施工工效的影响,研究可有效减少波浪影响、增加施工窗口期的方法。

1 项目概况

以色列阿什杜德港老港区于1965年建成投入使用。阿什杜德港项目实为阿什杜德港二期扩建项目,预计建成后年集装箱吞吐量为150万TEU,其建设规模主要包括主防波堤延长600 m、Lee防波堤护岸结构1480 m、集装箱码头岸线约800 m和煤码头岸线500 m、出运码头,并利用航道及港池疏浚的疏浚物吹填形成陆域约80万 m^2 。其中600 m的主防波堤延长段及Lee防波堤CH1000~CH1480断面需采用振冲碎石桩进行地基处理后方能回填防波堤堤心石,形成复合地基约150万 m^3 。

2 波浪条件

阿什杜德港沿岸海浪主要由涌浪及波浪组成,涌浪作用比较明显。主波方向为WNW,出现时间超过50%,其余部分来自西北方向,西北偏北及正北方向。全年中约有6%的时间的有效波高大于2 m,强波向也主要为WNW。由于全年海面多吹向岸风,且持续时间较长,即使风力不强,也会形成较高涌浪,对施工船舶的定位和作业造成非常大的影响。

根据现场1992—2011年的波浪统计数据显示,极端波浪(波高3.5 m以上)出现的频率平均每年5次,均出现在11—次年3月。此外,中长周期波浪占主导也是阿什杜德港沿岸波浪的一大特点。在夏季,周期为6~10 s的波浪出现时间在80%以上;在冬季,周期为6~12 s的波浪出现时间在90%以上。

3 技术要求

为熟悉振冲施工工艺并评估施工工效,阿什杜德港项目采用2000 t方驳搭载180 t履带吊,共

进行了4个碎石桩施工试验区的施工,分别位于主防波堤和Lee防波堤(图1)。每个碎石桩试验区分别施工9根碎石桩(图2),包括5根0.95 m桩径2.5 m间距和4根0.9 m桩径2.35 m间距的碎石桩,分别采用两种型号的振冲头施工用于对比试验。

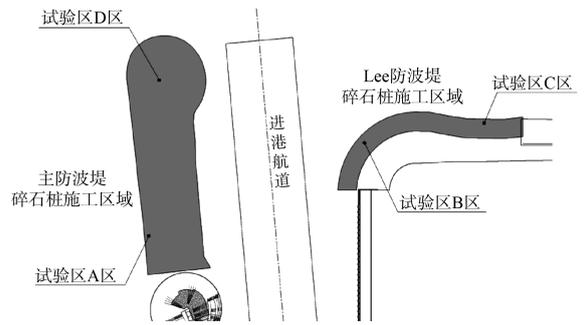


图1 总平面布置

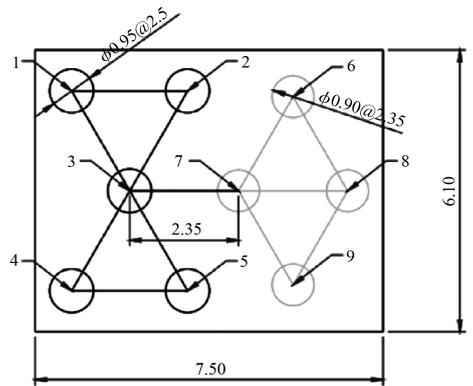


图2 碎石桩试验区桩位 (单位: m)

项目合同及技术规格书中规定,碎石桩施工的基本验收标准为面积置换率达到13%,且最大桩间距不得超过2.5 m,因此可以换算得到最大可施工桩径为0.95 m。此外,质量控制方面还要求桩位平面误差不超过30 cm,且桩体不得在超过1 m的范围内连续出现小于设计桩径90%的缩径。

根据设计断面(图3、4),主防波堤延长段的水深约为-23.3~-17.5 m,碎石桩施工设计底高程为-33 m,处理地层主要为上层的粉细砂土层(松散-极松散)以及下层的砂质淤泥层;Lee防波堤的碎石桩施工区域水深约为-17.0~-14.0 m,设计底高程为-36~-33 m,处理地层主要为表层的密实-致密砂层。

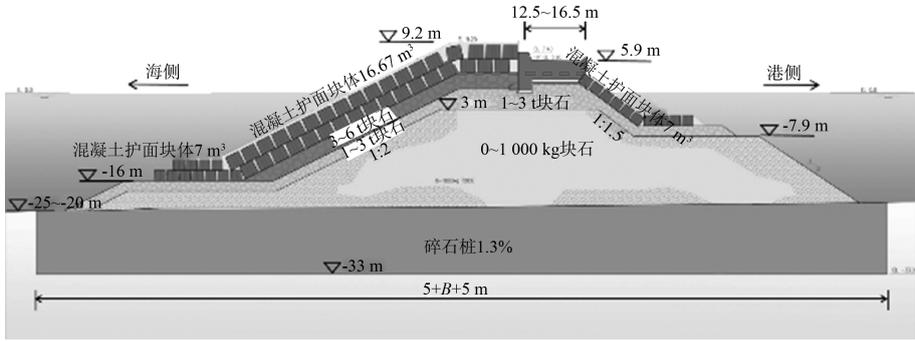


图 3 主防波堤设计断面

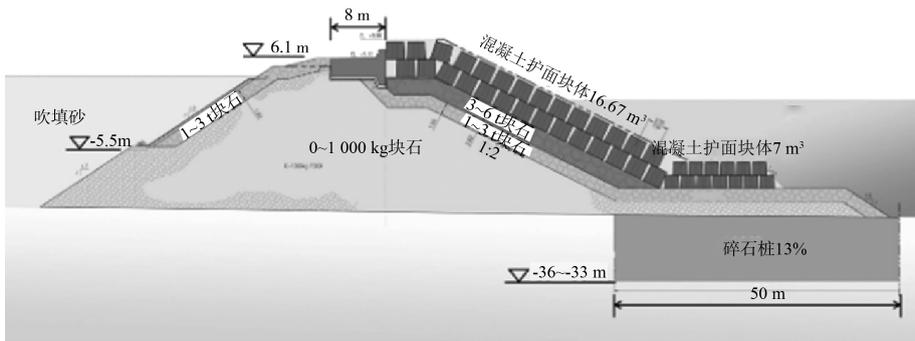


图 4 Lee 防波堤设计断面

4 施工工艺

振冲碎石桩施工的基本工艺流程^[2]为: 通过安装在履带吊吊臂上的 GPS 定位系统, 精确定位振冲器位置, 并放样准备施工碎石桩的位置。检查振冲动力系统, 启动振冲器, 当振冲器达到设计深度时, 将振冲器提升距孔底一定距离后, 启动泵送系统, 将碎石泵送至孔底, 利用振冲器计量系统精确控制泵送碎石量, 并振冲、密实, 达到要求后, 再将振冲器提升一定高度, 重复上述步骤, 直至将单根碎石桩施工完毕。当施工完一根碎石桩后, 继续利用吊臂上的 GPS 定位系统, 精确定位下一根碎石桩的位置, 重复上述步骤继续施工。

4.1 压力仓注入系统

压力仓注入系统(图 5)的基本工作原理为: 挖掘机将碎石放入碎石输送泵的料斗中, 碎石水泵通过水力将碎石输送至直径 6 in (15.24 cm) 的柔性软管, 直至 BC2 顶部储料仓; 接收罐顶部的密封门将碎石锁在储料仓, 并将其放入一个高压状态下(0.2~0.6 MPa), 是确保压力舱喷射系统高

质量输送性能的关键; 应用水力输送压力通过接收罐、筒仓管和导管将碎石注入在振冲器导管尖端的土壤内。

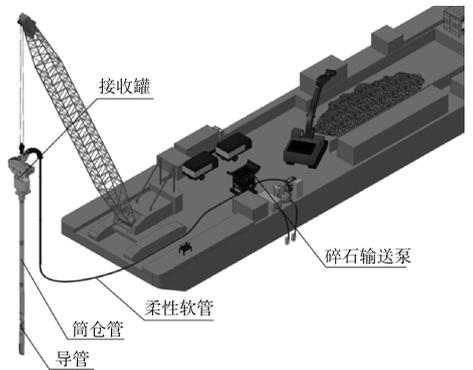


图 5 压力仓注入系统

压力仓注入系统的优点是在每一次打开密封门的时候, 可以精确计量碎石的输送量, 并由此可以精确记录在某一个深度入土碎石量, 用于计算碎石桩实际成桩直径。共有两个密封门安装在接收罐的顶部和底部, 组成一个可变双锁系统。

4.2 振冲设备施工工艺

1) 施工准备。

布设桩位：根据施工图的桩位编号，将坐标输入电脑系统，施工时对号入座，避免漏打、重打。配套设备：检查配套设备的相应管线连接，确保施工时系统正常运转。工艺参数：通过试验桩验证设计参数确定桩体密实电流、留振电流和填料量等施工工艺参数。

2) 成孔。

振冲器启动后产生高频振动，开动高压水泵，用喷嘴射出的高速水流冲击孔底，以 1~2 m/min 的速度贯入地层，从地表到加固深度形成孔洞，保持垂直，记载电流、电压、水压，了解地质情况。当电流升高时，其最大值不得超过电机的额定值；当电流超过电机的额定值时，减慢振冲器的下沉速度，甚至停止下沉或提起振冲器，让高压水冲松土层后再继续下沉。电流的变化，可以定性地反映出该孔的土质情况。

3) 补料。

碎石水力输送系统可保证连续供料，振冲器

底部可边供料边振冲密实。

4) 振密成桩^[4-5]。

达到所需的造孔深度后，振动器开始提升，每次提升 0.5~1 m。振冲加密采用连续填料制桩工艺，加密从孔底开始，逐段向上，中间不得漏振。加入一次碎石后用振冲器沉入孔内填料中进行振密，再加料再振密，数次后才能达到要求密实度，此时振冲器仍能振动。振冲器的电流达到核定电流时且在原位置留振 10 s 以上，其电流值不下降，表示振动点处桩体已达到振密要求，此值为“密实电流”^[5]；如果达不到规定密实电流时，应提起振动器，继续加料，继续振密，直至该深度处密实电流达到规定值为止，每加一次料，计算机系统可详细记录时间、加入量、电流量。

5 试验区波浪及工效分析

5.1 施工工效分析

考虑施工 0.95 m 桩径 2.5 m 间距的碎石桩，根据试验区的施工情况，主防波堤及 Lee 防波堤的施工工效分析见表 1。

表 1 施工工效分析

防波堤	平均桩长/m	设计桩径/m	碎石用量/m ³	定位时间/min	冲孔时间/min	振冲时间/min	单根碎石桩施工时间/min
主防波堤	12	0.95	10	5	5	25	35
Lee 防波堤	18	0.95	15	5	10	38	53

根据施工图纸，主防波堤共需施工碎石桩约 18 700 根，Lee 防波堤约 5 300 根。按表 1 工效分析，不含方驳移位时间，大约需要有效工作时间 15 600 h 进行碎石桩施工，按 2 班一天 20 h 作业考虑，需要 780 d 有效工作时间。

5.2 泊稳情况及精度控制分析

试验区施工的波况及偏位统计见表 2。

根据表 2 的统计数据，结合现场施工实际情况，波高与平面施工精度的关系可归纳为：1) 当最大波高小于 70 cm 时，平面施工精度可以控制在 30 cm 之内；2) 当最大波高大于 70 cm 且小于 120 cm 时，由于驳船及履带吊的摇晃，平面施工精度达到 60~70 cm；3) 当最大波高大于 120 cm 时，难以控制平面施工精度。

表 2 试验区波况及偏位统计

试验区区域	振冲头型号	最大波高/cm	平面偏位/cm	垂直偏位/cm
A	B36	40~80	41~73	2~22
	B27	30~50	10~20	6~13
B	B36	30~90	28~42	2~16
	B27	30~50	22~31	5~16
C	B36	60~130	31~45	6~28
	B27	60~90	28~36	5~8
D	B36	40~80	32~64	-164~-45
	B27	60~90	28~36	2~19

5.3 波浪条件及施工窗口分析

根据业主提供的 2011 年 4 月—2012 年 3 月的波浪统计数据(表 3)，最大波高 70 cm 以下年平均出现频率仅为 0.265，因此现有的施工设备及施工方法远不能满足施工节点的要求。

表3 最大波高出现频率统计

月份	<70 cm	<120 cm	<150 cm	<200 cm
4	0.25	0.50	0.80	0.95
5	0.40	0.60	0.80	0.95
6	0.20	0.60	0.90	0.90
7	0.10	0.40	0.90	0.95
8	0.30	0.75	0.98	0.98
9	0.50	0.75	0.95	0.95
10	0.50	0.75	0.80	0.90
11	0.25	0.50	0.60	0.80
12	0.33	0.75	0.80	0.80
1	0	0.20	0.30	0.50
2	0.25	0.50	0.60	0.60
3	0.10	0.30	0.50	0.50
年平均/%	0.265	0.550	0.740	0.815

6 解决方案

根据上述分析, 传统的“浮式驳船+履带吊+振冲设备”施工方法在阿什杜德港项目施工水域的强浪作用下, 全年可作业窗口时间不到30%, 且浮体结构波稳条件难以满足, 施工精度难以控制, 施工进度难以保证, 不能满足大面积碎石桩施工的需要。为解决这一施工难题, 提出了采用自升式平台作为碎石桩施工作业设备的方案(图7), 即采用“顶升平台+门机吊打+泵送碎石”的施工方法, 变水上施工为陆上施工, 减少施工期波浪对施工的影响, 提高施工效率。

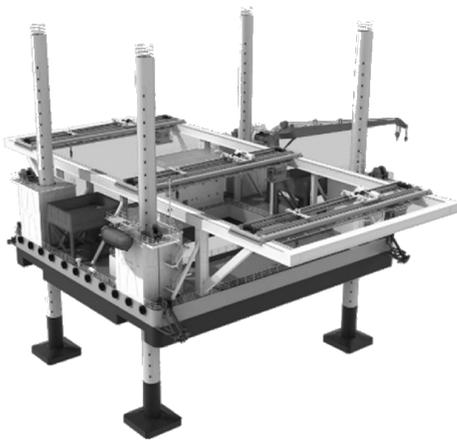


图6 碎石桩施工平台

平台型长50 m、型宽42 m、型深5.5 m, 四角上布置有4根采用液压驱动的桩腿, 桩腿底部带有桩靴, 桩腿长55 m, 最大可作业水深可达25 m。平台设计最大可作业波高2.5 m, 在作业时可将平台顶升至水面以上3~5 m以排除波浪的影响, 有效增加可

作业时间。

平台为箱型“回”字结构, 月池尺寸为27 m×19 m, 上部沿型宽方向布置门架, 门架覆盖月池及两侧弦外一定区域, 门架上部设置3台移动桁车, 分别布置于月池和两侧弦外区域; 每个桁车上布置主起升小车和辅助起升小车, 其中主起升小车吊装振冲器进行碎石桩施工。桁车可在门架上沿门架纵向移动, 主起升小车带动振冲器可沿台车横向移动。平台单次驻位可同时施工中间月池、两侧弦外共计3个区域的碎石桩, 可以实现单次驻位的大范围作业。

7 结语

1) 通过对碎石桩试验区施工的成桩时间和精度控制进行分析研究, 总结施工工效分析及波高对精度控制的影响, 只有当最大波高小于70 cm时, 传统的碎石桩施工工艺才能有效控制平面定位精度。

2) 根据现场波浪统计数据, 分析当前施工工艺的窗口时间, 传统的碎石桩施工工艺全面全年可作业窗口时间不到30%, 不能满足大面积施工要求。

3) 为满足大面积碎石桩施工的需要, 基于提高施工作业窗口期和增加施工作业面的考虑, 提出采用自升式平台作为碎石桩施工设备的解决方案, 变水上施工为陆上施工, 减少施工期波浪对施工的影响, 提高施工效率。

参考文献:

- [1] 武汉港湾工程设计研究院. JTJ 246—2004 港口工程碎石桩复核地基设计与施工规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 项国玉, 于德洲. 振冲碎石桩在海上防波堤工程中的应用[J]. 中国港湾建设, 2010(4): 56-59.
- [3] 李明玉, 徐满意, 韩冉冉. 下部出料振冲碎石桩在某工程中的应用[J]. 施工技术, 2013(S2): 29-31.
- [4] 韩冉冉, 王海鹏, 刘横财. 底部出料振冲碎石桩水下施工技术[J]. 施工技术, 2014(1): 29-31.
- [5] 韩冉冉, 徐满意, 乔小利, 等. 水下超软土地基振冲碎石桩试验及参数控制[J]. 岩土工程学报, 2013(S2): 612-616.

(本文编辑 武亚庆)