

DSM 法硬土层辅助贯入施工技术的研发与应用

安秀山, 冯宝强

(中交一航局第一工程有限公司, 天津 300456)

摘要: 提出了一种 DSM 法硬土层辅助贯入施工技术, 可用于大直径薄壁钢圆筒在硬土层中振沉施工。从施工参数、质量控制、工艺验证以及施工效率等环节介绍了该技术实施要点, 可对水下硬土层进行高精度差别处理。该技术已用于深中通道西人工岛钢圆筒振沉施工和快速成岛, 具有先进性、创造性、环保性以及实用性的优点, 可为外海大型人工岛工程建设提供技术参考。

关键词: DSM; 大直径钢圆筒; 振沉施工; 施工质量控制

中图分类号: U655.55; U655.54

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2020)05-0016-04

doi: 10.7640/zggwjs202005004

Development and application of DSM-assisted penetration construction technology for hard soil layer

AN Xiu-shan, FENG Bao-qiang

(No.1 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300456, China)

Abstract: A DSM-assisted penetration construction technology for hard soil layer is proposed, which can be used for vibration sinking construction of large diameter thin-walled steel cylinders in hard soil layer. We introduced the key points of this technology from the aspects of construction parameters, quality control, process verification and construction efficiency, etc., which can carry out high-precision differential treatment for underwater hard soil layer. The technology has been applied to the vibration sinking construction of steel cylinder for rapid formation for the west artificial island of Shenzhen-Zhongshan Bridge. It has the advantages of advancement, creativity, environmental protection and practicability, and can provide technical reference for the construction of large artificial island in the open sea.

Key words: DSM; large diameter steel cylinder; vibrating and sinking construction; construction quality control

0 引言

大直径圆筒已成为码头、防波堤等工程中应用较为广泛的一种结构形式, 具有施工快, 工序简单的特点, 也是人工岛成型的首选结构形式。目前圆筒的下沉方法主要有两种, 一种是静力压入法, 原理简单, 但下沉荷载不易控制, 纠偏难, 施工比较繁琐, 适用于强度较低的淤泥质软土^[1], 有时也结合抽真空的方式实施^[2]。另一种是振动式下沉, 采用多锤联动方式, 扰动筒体周围土体, 降低土体摩阻力使圆筒下沉插入土层。天津大学

等科研院所通过理论分析、有限元计算、模型试验等多种方法研究了大圆筒的极限工作状态^[3-5]、动力下沉分析方法等^[2,6-7]。在施工方法方面, 中交一航局在 2003 年总结了大直径圆筒(混凝土和钢圆筒)的振沉工艺^[8-9], 并于近期总结了大直径圆筒的振沉和计算方法^[10-11], 滕爱国等总结了大直径钢圆筒多锤联动振沉设备及工艺^[12]。近 20 a 的理论和实践为大直径钢圆筒的应用积累了宝贵经验。

工程经验表明, 圆筒结构较易穿透淤泥质黏土层, 而不易穿透亚砂土和砂土层。在振动下沉过程中, 土体在动荷载作用下扰动, 动强度降低, 圆筒结构才会下沉。然而在较长期的循环荷载作用下, 孔压持续升高, 对于砂土而言, 可能会发

收稿日期: 2020-01-20 修回日期: 2020-03-06

作者简介: 安秀山(1971—), 男, 天津市人, 高级工程师, 总工程师, 港航工程专业。E-mail: Anxiushan101@126.com

生液化变形,土体孔隙结构重新排列,土体反而逐渐趋于密实,此时会导致圆筒结构下沉困难^[7]。在砂土地基上,对较厚的混凝土筒壁,可结合高压水、高压气和排泥管进行施工^[2],工序复杂,效率低。对薄壁钢圆筒结构,工程实践中有采用中粗砂置换的案例,但是在振沉时发现振沉使回填砂密实,也造成振沉困难^[13]。因此在砂土地基上采用大直径钢圆筒将面临施工困难的窘况。

在钢圆筒穿透深厚砂层的工程案例中,深中通道工程西人工岛工程由直径28 m,高度不等的57个钢圆筒形成岛壁(图1)。筒顶标高+3.5 m,筒底标高为-31.5~-36.0 m,筒重为584~683 t,工程区域原泥面标高为-13.0~-15.0 m。钢圆筒打设过程中,砂层也发生了振密效应,给钢圆筒振沉带来了很大的困难,强行打设很容易造成钢圆筒结构的破坏。同时钢圆筒下方不均一的复杂地质条件难以保证圆筒下沉的垂直度等技术要求。因此,急需解决薄壁钢圆筒的下沉施工问题。

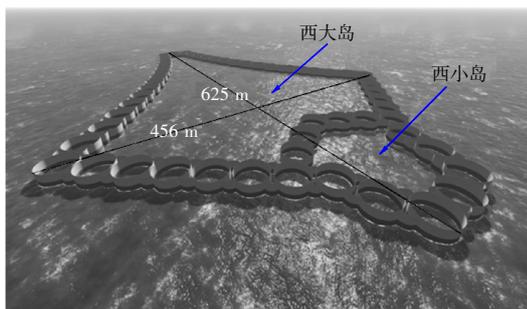


图1 深中通道西人工岛钢圆筒布置图

Fig. 1 Steel cylinder arrangement for west artificial island of Shenzhen-Zhongshan Bridge

针对这一问题,结合现场实际情况及工程特点,考虑施工安全、施工环境、施工成本、施工效率等因素,开发了一套DSM技术(深层泥浆搅拌技术, Deep Slurry Mixing Technology),该技术采用喷水或喷射泥浆的方式,在钢圆筒振沉前对深厚砂土层进行预处理,使钢圆筒容易打入,但是又不会导致结构失稳。通过在深中通道工程中实践、总结和完善,该技术可为类似钢圆筒围堰结构施工提供经验。

1 技术原理、特点及适用范围

1.1 技术原理

DSM法硬土层辅助贯入施工技术采用专业性船舶对水下硬土层地质进行处理。船舶上处理机的驱动电机驱动传动轴、搅拌轴和钻头旋转,同

时处理机依靠自身重力和搅拌轴钻头切削力的共同作用,贯入土层直至持力土层或设定深度。

1.2 技术特点

1) DSM施工工艺由DCM施工工艺改造优化而来。DSM施工工艺是采用逆向思维,创新优化,通过机械搅拌硬土层同时喷射泥浆,软化和松动硬土层。

2) DSM船属于特种专业性施工船舶,是将DCM专用船上的水泥浆系统改造为泥浆系统而成。

3) DSM船具有自动机械化程度高、设备仪器先进、测量定位准确以及安全环保等优点。施工管理系统进行自动化施工作业,可自动生成原始记录施工图,平面位置、垂直度以及处理深度都可以通过操作室的显示屏实时显示数据,保证处理精度。

4) DSM船的处理机钻头在泥面以下作业,泥浆不在水中溢流,施工噪音小,利于环保。

1.3 适用范围

该技术已成功应用于深中通道工程大型钢圆筒振沉。施工后,钢圆筒平面偏差 ≤ 350 mm,垂直度 $\leq 1\%$,锁口平面偏位(扭角) $\leq 2^\circ$,筒底2/3位置位于持力层上(持力层包括砂层、圆砾、花岗岩等地质),达到控制设计和精度要求。深中通道西人工岛工程钢圆筒振沉区域有较硬夹砂层,筒底强风化岩标高起伏变化较大,以下为几种典型复杂地质概况:

1) 振沉垂直范围内中间夹有9 m厚的砂层,且标贯击数较大(35击),依靠筒和锤组的自重无法自沉穿透,且振沉后砂层更加密实。

2) 振沉平面范围内一侧无夹砂层,而另一侧有4 m厚、标贯击数在14~27击的夹砂层,垂直度 $\leq 1\%$ 难以保证。

3) 振沉平面范围内存在约2 m的岩面起伏。一侧是在-32.9 m入岩,一侧是在-34.67 m入岩,垂直度无法达到设计要求。

该技术适用于对水下硬土层(指标准贯入击数 $N \leq 70$ 击的中粗砂、圆砾及全风化岩等硬土层)平面精度、桩位垂直度、处理深度要求高以及环保要求高的水上桥梁工程、外海人工岛工程、防波堤工程以及海上风电工程等,同时与钢圆筒施工工艺相结合,满足在不同复杂地质条件下的施工要求,施工质量和施工效率可控。

2 DSM 法硬土层辅助贯入施工技术应用分析

2.1 工艺流程

结合深中通道项目中钢圆筒振沉施工，总结实施步骤，主要包括闭环的精确定位控制以及喷浆搅拌法处理硬土层两大环节，如图 2 所示。

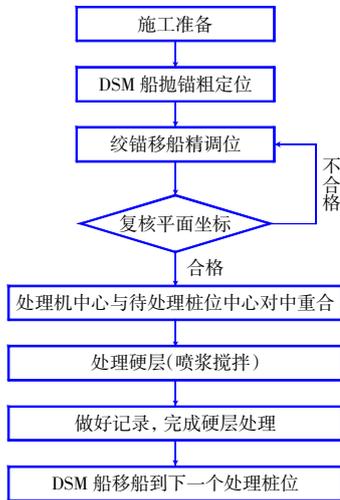


图 2 施工工艺流程图

Fig. 2 Flow chart of construction process

2.2 施工设备

本法依靠大型海上水泥搅拌桩施工船舶提供工作平台，辅以研发的精确定位和自动施工管理系统完成工法实施。DSM 船舶桩架最高点距满载水线的高度 49.5 m(满载吃水为 2.5 m)，船舶总长 73.2 m，型长 70 m，型宽 30 m，桩架间距 4.8~6.0 m，总吨位 3 359 t，净吨位 1 007 t，满载吃水 2.5 m，满载排水量 5 013 t。

测量定位系统专为 DSM 船设计，可以实时显示桩位图形、船位图形、桩位坐标数据、平面偏差数据、船舶方位角数据、船甲板标高数据以及桩架垂直度数据等信息，测量精度高，满足全天候 24 h 作业的施工要求。施工管理系统亦专为 DSM 船设计，可以实时显示处理机钻杆转速、贯入速度、提升速度、每根钻杆电流值、处理机提升卷扬电流值以及泥浆泵喷浆量等数据，自动化程度高，可自动记录施工数据，绘制施工曲线图。

2.3 技术要点

2.3.1 施工顺序

DSM 单桩桩型布置如图 3 所示，单桩截面积 4.64 m²。钢圆筒直径 28 m，考虑到 DSM 船处理机的布置间距，布置 40 根桩即可布满钢圆筒圆周，满足施工要求(图 4)。

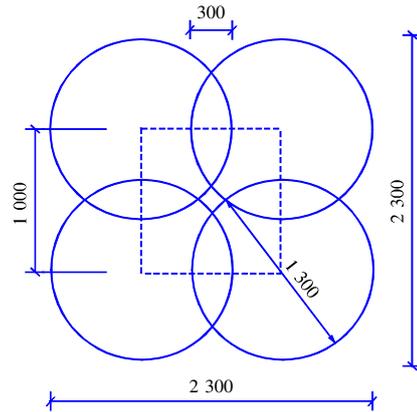


图 3 DSM 单桩桩型布置图(mm)

Fig. 3 Arrangement of single DSM pile type(mm)

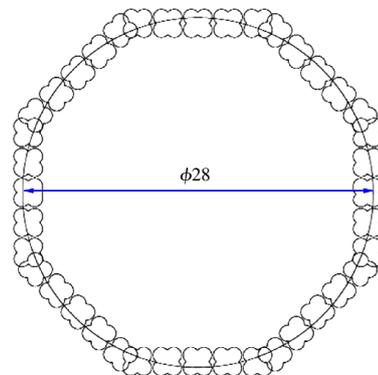


图 4 单筒 DSM 桩布置图(m)

Fig. 4 Arrangement of DSM piles around the single cylinder(m)

2.3.2 船舶驻位

为便于 DSM 船抛锚驻位最大限度处理量以及钢圆筒尺寸与处理机的相对位置，采用“八”字锚布置，利于船舶移动流水线作业。

2.3.3 精准定位

1) 平面位置定位

测量定位系统实时显示平面偏移数据。通过锚机操作，使处理机中心与桩位中心接近重合，平面偏差控制在 100 mm 以内，收紧锚缆，使船舶稳定。

2) 归零标高值确定

处理机钻头下喷浆口与水面相平归零，深度设定为 0。测量人员通过测量定位系统测出船首甲板标高值，同时实时校核潮差值。根据实测船舶甲板至水面高度值，得出归零点标高值。

2.3.4 处理机贯入

待处理机定位和归零完成后，处理机钻头开始贯入处理作业，贯入施工时参数见表 1。

表1 贯入时各处理阶段施工技术参数

Table 1 Construction technical parameters at each treatment stage during penetration

处理阶段	机头转速/(r·min ⁻¹)	最大贯入速度/(m·min ⁻¹)	输浆泵流量/(L·min ⁻¹)	浆液类型	备注
在水下至泥面以上之间贯入	20	1.8	300	喷水	
贯入至泥面	20	1.0	300	喷水	注意处理机运转情况和电流值变化,以防因泥面杂物与处理机缠绕,造成设备损坏
泥层中贯入	20	1.8	300	喷水	
贯入至砂面	20	1.0	300	喷水	注意电流变化情况
砂层中贯入	20	1.6	300	喷浆	注意电流变化,做好停钻准备
停钻	0	0	0		确认处理底标高数值

2.3.5 处理机提升

待处理机钻头到达处理砂层底标高后,停止喷浆,反转提升,转速为35 r/min,提升速度为1.7 m/min。处理机提出水面,检查钻头有无磨损后方可移船至下一个桩位作业。

2.4 技术参数

通过对试验实施和正式施工中得出的数据分析,确定泥浆配合比及比重,优化各项施工参数,对DSM法硬土层辅助贯入施工技术进行技术总结,形成技术参数见表2、表3,为后续类似工程实施提供借鉴。

表2 推荐施工参数

Table 2 Recommended construction parameters

技术参数		取值
贯入转速最大值/(r·min ⁻¹)		20.2
提升转速最大值/(r·min ⁻¹)		35
处理机电流值/A	施工时最大电流值	180
	额定电流值	200
水下和泥层贯入速度/(m·min ⁻¹)		1.4~2.1
砂层贯入速度/(m·min ⁻¹)		0.2~1.4
提升速度/(m·min ⁻¹)		1~1.9
泥浆比重/(g·cm ⁻³)		1.43
输浆泵流量/(L·min ⁻¹)		300~350
质量比(水:膨润土:砂)		1:1:5

表3 桩位处理质量控制标准

Table 3 Quality control criterion for pile position

检查项目	规定值或允许偏差
桩位平面位置允许偏差/mm	≤100
桩位处理垂直度/%	≤1
桩尖标高	满足设计要求

2.5 处理效果

选取3个勘探孔位进行硬土层贯入处理试验,试验证明DSM船可穿透标贯击数为43击的硬土层。同时对勘探孔处进行硬土层搅拌泥浆试验,并对其进行复勘,原硬土层标贯击数为34~43击,复勘原地层标贯击数为5~8击,处理效果良好。

通过专用钻头研发与试验,对处理机贯入进行记录、整理与分析。在处理机达到最大处理深度时,成功穿透处理标贯击数为68击的花岗闪长岩,有力证明新型钻头和船舶设备满足DSM专业化船舶要求,获得成功。

结合深中通道西人工岛硬土层处理的施工经验可知,平均每根桩处理全过程需要55 min(未考虑移船定位时间),每天工作按12 h计,采用合理编排桩位施工图,受钢圆筒处理区域为圆形限制,不能连续采用3台处理机同时作业的施工要求,但也能每天平均完成22根,仍可满足施工工期的要求。

3 结语

深中通道西人工岛钢圆筒振沉区域采用DSM法硬土层辅助贯入施工技术取得了成功。实现了在外海施工条件下处理桩位平面位置偏差≤100 mm,垂直度≤1%的高精度要求。通过对此技术的研发与应用,确定和优化了施工参数,制定了施工操作规程。在研究和施工过程中,不断总结和完善施工经验,形成了一套成熟的处理工艺流程、施工质量控制方法及处理质量检测方法,为硬土层处理技术提供了从设计、施工到检测等一整套施工经验,对以后类似工程的成功实施具有借鉴价值,为该工艺的推广应用奠定基础。

参考文献:

[1] 陈南松,刘雅清,苑耕浩.钢筋混凝土大圆筒下沉工艺[J].港口工程,1997(2):38-43.
CHEN Nan-song, LIU Ya-qing, YUAN Geng-hao. Sinking technology of reinforced concrete large cylinder[J]. Harbour Engineering, 1997(2): 38-43.

(下转第54页)