

陆上 DCM 施工方案及质量控制

赵云龙

(中交第一航务工程局有限公司)

摘 要: DCM 工艺是一种非常先进环保的软弱地基处理工艺, 通过将软弱土与水泥浆强制搅拌形成柱状水泥土, 形成具备一定强度和较小变形量的桩基基础并与原土层形成复合地基, 最终增强地基的承载能力减小沉降变形量。文章以香港第三跑道工程为例, 介绍了近海回填软基上的 DCM 桩的施工准备、水泥浆搅拌、DCM 桩安装, 并进行了功效分析, 总结了质量控制要点, 可为类似工程提供借鉴。

关键词: 陆上 DCM; 深层水泥搅拌桩; 施工方案; 质量控制

0 引言

DCM 工艺是一种非常先进环保的软弱地基处理工艺。典型的 DCM 工艺处理过程是将 DCM 处理机贯入软弱土层并达到持力土层。在贯入和上拔过程中处理机的搅拌轴将软弱土与喷入的水泥浆强制搅拌形成柱状水泥土。水泥土经过自然养护固化后形成具备一定强度和较小变形量的桩基基础并与原土层形成复合地基, 最终增强地基的承载能力减小沉降变形量。

1 工程概况

本文以香港第三跑道工程为例, 介绍了近海回填软基上的 DCM 的施工方案及质量控制措施。本工程陆上深层水泥搅拌 DCM 区分布在施工区中部的 C4、C5、C7 分区内, 区域面积约为 83.62 万 m^2 , 总方量约为 185.45 万 m^3 。首先在原海床上回填 2 m 厚砂垫层, 施工海上 DCM, 然后在各区域回填至 +2.5 mPD 并完成验收后, 组织陆上 DCM 设备和拌合船及相应配合船进场施工。DCM 应进入到砂垫层内, 保证砂垫层顶部和 DCM 群桩顶部之间的间距不超过 1 000 mm。陆上 DCM 施工完毕后, 回填至设计标高。施工区域的作业顶标高为 +2.5 mPD, 设计高水位为 +2.3 mPD, 设计低水位为 +0.36 mPD。

2 施工难点

1) 施工区表面松散

DCM 施工在回填至 +2.5 m 时开始进行, 表面中粗砂未碾压密实, 机械设备很容易陷入砂土中。

2) 施工交叉多

由于本工程各区域进行地基处理时存在大量

交叉施工, 施工协调与施工安排难度大。

3) 水泥需求量大, 供应压力大

本工程原地基加固量约为 185.45 万 m^3 , 按最低水泥掺量 300 kg/m^3 计算, 共需水泥约 56 万 t, 在有效工作时间内, 确保水泥供应是按期完工的关键。

4) 水泥浆水灰比

水泥浆需要从拌合船上搅拌, 混凝土罐车运输到 DCM 设备处的水泥浆储存装置, 如何调整水灰比成为工程一大难点。

5) 地质条件复杂

现场污泥坑沉积在表层的污泥质矿物成分、酸碱度、腐殖质含量、有机质含量等情况不明, 表层污泥加固效果需开展大量实验工作来确定搅拌中水泥的参入量, 同时 DCM 桩尖要进入冲击黏土层 3~6 m, 中间局部可能还有砂的夹层, 在这些土层中钻进速度会降低, 从而降低工程的施工效率。

3 主要设备投入

根据本工程情况、工期要求和现场施工条件, 选择合适的机械设备进行本工程的施工。本工程投入主要设备详见表 1。其中, DCM 设备性能: 处理机为 2 轴直径 1.3 m, 功率 2×132 kW(两轴同期); 最大处理深度 35 m; 处理面积 2.32 m^2 。压浆泵为三缸活塞泵 BW-350。

4 施工方案

4.1 施工准备

1) 施工前应根据设计图纸要求编好桩位图, 对应每根 DCM 桩都编号, 同时计算桩位坐标, 并

表 1 主要设备投入

序号	设备名称	型号	数量	备注
1	DCM 设备/台		16	
2	方驳/艘	2 000 t	1	DCM 设备运输
3	混凝土罐车/台	12 m ³	32	
4	水泥运输船/艘	3 000 t	5	
5	水泥运输船/艘	1 000 t	2	
6	发电机/台	400 kW	17	施工用电
7	挖掘机/台	PC200	2	配合施工
8	拌合船/艘	140 m ³ ·h	1	
9	水泥桶仓/支	20 m ³	16	
10	压浆泵/个	BW-350	16	
11	压路机/辆	YZZ8	1	
12	推土机/辆	T180	1	

将桩位坐标输入定位系统电脑。

2) 参考海上 DCM 地表勘探图纸，将勘探图纸与 DCM 桩位坐标图纸对照检查，查找桩位处是否有可疑障碍物提前做好预案。

3) 根据现场地表勘探情况编制详细的施工方案。

4) 采集施工区域不同深度的污泥拌制按照特殊技术规范要求拌制配合比。

5) 试桩

每台 DCM 设备在正式施工前应选择正式工程区域外相近的地质条件的区域进行钻入试验，检验在钻头的下钻速度最小达到 0.1 m/min，钻头产生的最大扭矩能否使钻头达到硬土层 6 m 以上。不能达到要求的桩机，则应改进桩机钻头形式、钻机功率、钻进方法等措施以满足进入 6 m 以上深度的要求。未通过测试的 DCM 桩机禁止使用，需重新测试。

确定施工参数，主要有：下钻速度、最大电流、转速、扭矩、上提速度、浆液的配制时间、浆液密度、喷浆量。

至少进行 2 个单桩和 3 个桩群的试桩，同时每个试桩位置同步安排三组静力触探 CPT 试验。

4.2 水泥浆搅拌

本工程需配置拌合船一艘，混凝土罐车 40 辆，水泥桶仓(20 m³)20 个。拌合船配有 70 m³/h 搅拌站两台。水泥存储在船上密封水泥罐中，按照配合比中每盘水泥浆搅拌需要的水泥量通过水泥仓底部螺旋输送机将水泥输送至搅拌楼水泥称量斗中称重，然后将水泥放入搅拌罐，随后按照

配合比要求从海水池抽水称重并放入搅拌罐，将水泥和海水搅拌均匀，然后罐车运到 DCM 设备处的水泥桶仓。

4.3 DCM 桩安装步骤

第 1 步：施工准备及布置桩位，DCM 设备就位、调试。见图 1。

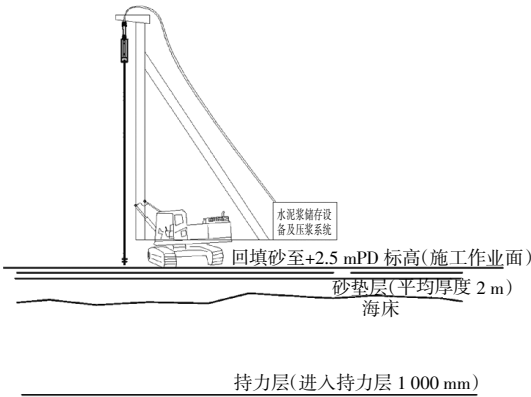


图 1 设备就位

第 2 步：处理机下放，桩位定好后匀速下放处理机，下放速度按照 1 m/s 控制，下放过程中处理机始终保持垂直下放，下端搅拌翼转速保持在 30~60 r/min 之间。见图 2。

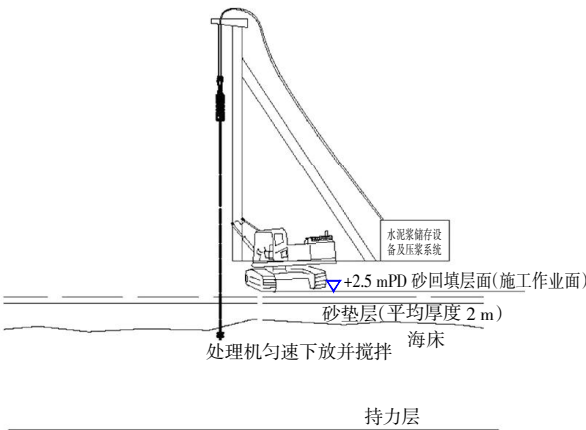
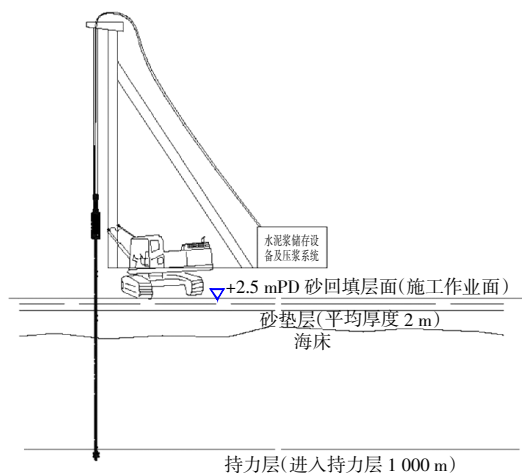


图 2 处理机下放

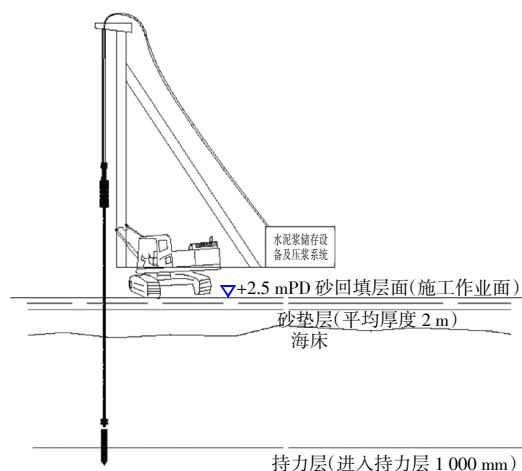
第 3 步：处理机进入冲击黏土层着底，根据 CPT 检测的冲击黏土层顶标高，算出 DCM 桩的终孔底标高，在进入冲击黏土层后，处理机的转速会下降到 0.5 m/min 左右，同时搅拌翼的扭矩会增加，转速会下降到 30 r/min 左右，进入该段应时刻监测搅拌翼扭矩，一旦扭矩接近最大扭矩值可继续降低转速和下放速度，直至达到设计终孔底标高。见图 3。



注：处理机进入冲击黏土层后，搅拌转速降低、搅拌扭矩增大，可通过调整下放速度控制扭矩不超过最大值。

图3 DCM设备进入黏土层

第4步：DCM桩底端2 m施工，由搅拌轴底端喷浆口喷水泥浆搅拌，喷浆后只有一层搅拌翼搅拌水泥混合土，为确保底端搅拌质量，在将处理机搅拌提升2 m后，需停止喷浆，然后匀速下放处理机至桩底并搅拌，达到桩底后由固定轴喷浆口喷水泥浆同时上提处理机，边匀速搅拌边上提。见图4。

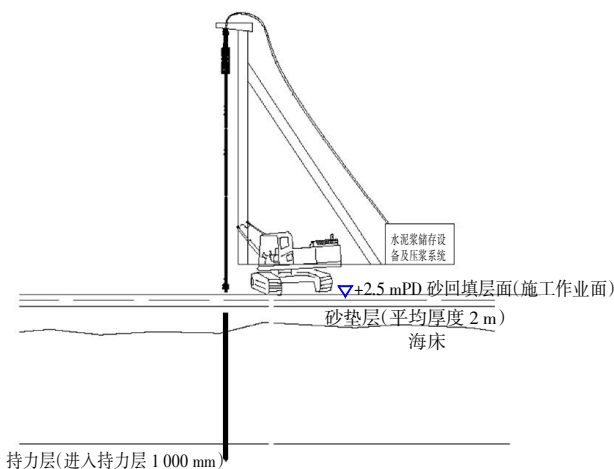


注：1、喷浆口喷浆，匀速搅拌上提；
2、喷浆口不喷浆，匀速搅拌下放。

图4 DCM桩底端2 m施工

第5步：DCM桩成桩，DCM桩在进入顶部后，可适当放缓转速，降低搅拌翼转动产生的离心力，避免隆起土的扩散；同时根据实测标高控制停止喷浆的时间，一旦喷浆口位置距离砂垫层顶端1 m时停止喷浆，处理机继续搅拌上提，在

底端搅拌翼进入砂垫层8 m后，继续搅拌但不上提处理机持续时间5 min，让砂垫层将搅拌翼冲刷干净。见图5。



注：1、处理机搅拌、上提、喷浆；
2、喷浆口高出砂垫层底标高1 m时，停止喷浆继续上提；
3、搅拌翼底端高出砂垫层底标高1 m时，停止上提继续搅拌5 min。

图5 DCM桩成桩

5 工效分析

根据技术规范要求(桩上端和下端各8 m范围内水泥土截面搅拌次数为900转，中间段为450转)和设备性能设定边界条件如下：砂垫层和软土层中下放速度为 $V_1=1\text{ m/min}$ (处理机转速30 r/min)，提升速度 $V_{2\text{提}}=0.25\text{ m/min}$ (处理机转速30 r/min，桩上下端8 m范围内)、 $V_{2\text{提}}'=0.8\text{ m/min}$ (处理机转速30 r/min，桩长超过18 m的中间范围)；硬土层中下放速度为 $V_3=0.3\text{ m/min}$ (处理机转速15 r/min)，提升速度 $V_{3\text{提}}=0.2\text{ m/min}$ (处理机转速15 r/min)；底部2 m范围内调整平衡2 min；顶部1 m砂垫层提升时间5 min；移机定位为20 min；清洗搅拌翼时间5 min。

取桩长30 m，硬土层厚4 m，完成一个周期的时间：

$$T=(26/1+4/0.3+2+4/0.2+14/0.8+12/0.25+5+20)\approx 152\text{ min}$$

完成一组桩的方量： $2.32\times 30=69.6\text{ m}^3$

每天施工按照16 h计算，月有效施工天数26 d考虑，DCM设备日生产量为 $16/(152/60)=6.3$ 根，生产量为： $6.3\times 26=163$ 根，方量 $163\times 69.6=11344\text{ m}^3$ 。

6 质量控制要点

6.1 搅拌土水泥参入量控制

在压力灌浆机处设有泥浆变换器一体式流量计, 根据搅拌土配合比, 和处理机上升速度调节压力灌浆机的流速确保搅拌土中水泥掺入量符合配比要求。

6.2 搅拌质量控制

根据处理机前端搅拌翼搅拌转速确定处理机提升速度, 确保 DCM 桩底端 8 m 和桩顶端 8 m 搅拌 900 转, 中间部分搅拌 450 转; 本设备搅拌提升速度和转速之间的关系均有控制系统电脑实时计算控制操作, 避免人为主观影响而达不到搅拌次数。

6.3 水泥质量控制

水泥进场前要提交证书, 证书不能超过 6 个月同时还要抽检, 合格后才能进入现场, 搅拌船上水泥存储罐每次均用空后再加新水泥, 避免罐体上部的水泥超期失效。

6.4 水泥浆质量控制

水泥浆应严格按预定的配比在拌合船上拌制, 后又罐车运至 DCM 设备处水泥浆储存设备。制备好的浆液不得离析, 泵送必须连续。制备好的浆液不得停置过长, 超过 2 h 的浆液应降低等级使用。

6.5 计量设备校准

所有计量设备在进入香港工地后均应找有资质的单位校准, 同时 DCM 质量工程师要编制校准计划, 明确下次校准时间, 对影响工程质量的关键设备要每周校准, 如流量计、深度指标、压力表等。

6.6 压力输浆管

为避免水泥浆凝固堵塞压力输浆管道采取两方面措施, 一方面将压力泵至桩架顶端的钢质压力管道外覆岩棉等绝热材料, 避免夏季温升过高至水泥浆凝固堵管; 另一方面在水泥浆输浆完毕后立刻压送水将管道内水泥浆排出。

6.7 材料检验

1) 水泥

按照 BS EN 196-7 规定每批水泥应抽取取 20 kg 样品进行检验。

2) 水泥浆

每 500 m³ 的水泥砂浆中取一个水泥浆样品, 制成三组 100 mm 水泥浆试块, 分别检测 7 d 及 28 d 的抗压强度, 另一组保留以检验测试结果。

7 结语

陆上 DCM 施工过程中, 应根据项目特点选择合适的 DCM 设备, 施工过程中严格遵循施工方案, 应特别注意不同阶段搅拌土水泥掺入量和搅拌质量控制, 并合理安排施工顺序避免搭接出现冷接缝, 确保施工质量满足设计要求。随着国内对环境保护的重视程度日益提升, 将来在填海造陆项目中, DCM 将会有越来越广泛的应用。本文介绍的近海回填软基上的 DCM 施工方案及质量控制措施, 可为今后类似项目提供借鉴。

参考文献:

- [1] 沿岸技术研究中心. 海上施工中的深层搅拌法技术手册[M]. 日本, 2008.
- [2] 中交第一航务工程局有限公司. 海上工程深层搅拌加固工法技术指南[M]. 2009.