

真空预压超软弱土下卧透水层新密封方法探讨

孙田磊 林涌潮 杨福麟 臧少慧

(中交四航工程研究院有限公司 广东 广州 510230)

摘要 :针对真空预压工程中超软弱土下卧透水层传统密封处理方法存在的费用高、密封效果差、危险性高等缺点 ,提出采用由改装地质钻机施打泥浆搅拌桩这一新方法 ,可解决超软弱土下卧透水层止水密封难题。结合广州中船龙穴造船基地某软基处理工程实际应用 ,通过与传统处理方法密封效果、处理成本、工期等对比 ,表明该方法简单高效 ,成本较低 ,具有较高的推广应用价值。

关键词 软基处理 ;真空预压 ;超软弱土 ;下卧透水层 ;地基密封处理 ;地质钻机

中图分类号 :TU472 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2009)05-0074-04

Discussion of new sealing method of deep water-permeable stratum under super soft ground in vacuum pre-loading//SUN Tian-lei ,LIN Yong-chao ,YANG Fu-lin ,ZANG Shao-hui(*Engineering Technology Research Company , Ltd. of CCCC Forth Harbor Engineering Company , Ltd. , Guangzhou 510230 , China*)

Abstract :In view of the high cost , poor sealing effect , and danger in construction of the traditional sealing method for the water-permeable stratum under super soft ground in vacuum pre-loading , a new method , which uses a refitted geological drilling machine , is put forward. It can solve the sealing problem of the water-permeable stratum under super soft ground. Through practical application of soft ground treatment at the Guangzhou CSSC Longxue Shipping Base , and through observation of contrasts in the sealing effect , cost , and time spent in the traditional method and the new one , the new sealing method is shown to be simple , efficient and low-cost , so it has certain application value.

Key words :treatment of soft soil ; vacuum pre-loading ; super soft ground ; deep water-permeable stratum ; groundwork sealing treatment ; geological drilling machine

真空预压法是加固软土地基的一种先进技术 , 它可将预压荷载在很短时间内一次施加完成 ,除可节约大量堆载料之外 ,其应力引起的收缩变形不会造成地基失稳剪切破坏^[1] ,因此这种方法被广泛应用于我国沿海地区大规模围海造陆、快速地基处理工程中。对于高含水率、高压缩性、低承载力的软黏土 ,该方法尤其适用^[2]。

加固区周边真空密封效果直接关系到真空预压处理的成败。目前我国普遍采用打设连续泥浆搅拌桩形成隔水密封墙体^[3]作为周边密封系统 ,所用设备改装自水泥搅拌桩、喷粉桩用深层搅拌机^[4] ,质量在 15 ~ 18 t 之间。由于接地压强大(25 ~ 40 kPa) ,在较软弱土层中施工困难 ,此外设备自身不带动力 ,移动、定位繁琐 ,也存在很大的安全隐患。

我国沿海大面积围海造陆工程中 ,出于节约资源、降低成本等考虑 ,排水砂垫层一般很薄 ,因此地基承载力不高 ,且多采用水力吹填以降低成本。在水力吹填过程中 ,采取子母吹砂管消能、频繁摆管等

措施^[5]后 ,虽然可减少大面积挤淤、拱淤的可能 ,但由砂料在吹填冲力及自身重力作用下所产生的小范围挤淤、拱淤现象在所难免 ,即产生所谓的“ 淤泥包 ”。“ 淤泥包 ”土体呈流塑态 ,几乎无承载力 ,属于超软弱土。

1 工程概况

广州中船龙穴造船基地某软基处理工程施工内容包括大面积水力吹填砂垫层及真空预压 ,面积达 $6.7 \times 10^5 \text{ m}^2$,其陆域是在原有滩涂上吹填形成的。新吹填土层厚度为 4.0 ~ 6.0 m ,主要由淤泥、淤泥混砂为主 ,含水率高达 60% ~ 90% ,呈饱和、流动状 ,标准贯入试验一般为杆自沉 ,呈现高压缩、低强度、低承载力特性 ;下部滩涂 5.0 ~ 20.0 m 深度范围以粉质黏土、淤泥混砂为主 ,3.0 ~ 8.0 m 深度范围内普遍含透水夹砂层 ,厚度 0.5 ~ 2.0 m 不等。真空预压周边密封采用黏土密封墙方案。不同部位透水夹砂层的渗透系数见表 1。

作者简介 孙田磊(1982—) ,男 ,山东邹城人 ,助理工程师 ,从事岩土工程及软基加固技术研究和施工工作。E-mail :stianlei@gzppc.com

表 1 典型透水夹砂层的渗透系数^[6]

区段	透水层组成	深度范围/m	渗透系数 K_h 范围($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
6-1	泥混砂	3.5~4.5	$6.5\times 10^{-4}\sim 1.2\times 10^{-3}$
6-3	泥混砂	4.0~5.5	$4.2\times 10^{-4}\sim 1.5\times 10^{-3}$
6-7	砂质粉土	4.0~4.8	$8.2\times 10^{-5}\sim 1.6\times 10^{-4}$

胡利文等^[7]、李军等^[8]进行的工艺试验分析表明,密封墙体厚度达到 1 m,淤泥质量分数($d\leq 0.075\text{ mm}$)达到 30%,墙内掺合土体水平渗透系数 $K_h<1\times 10^{-6}\text{ cm/s}$,气密性可满足 90 d 真空密封要求。

砂垫层水力吹填排水时在 6-3、6-4 和 6-9 区段出现了小范围挤淤、拱淤现象,且出现在黏土密封墙施工位置。而地质钻探资料显示,淤泥下卧层均存在 0.6~1.0 m 厚的透水夹砂层。该部位如不进行止水密封处理,则会使整个加固区无法形成真空密封体,从而导致软基处理方案失败。

2 传统‘淤泥包’密封措施介绍

挤淤、拱淤部位若出现在两加固区的公共边,则可以改变黏土密封墙施工线路,绕开拱淤部位进行施工。该方法不仅增加了黏土密封墙的工程量,延长了工期,还需重新划分施工区段,给真空膜加工、真空泵及管路布设带来困难。

挤淤、拱淤部位如果出现在加固区周边位置,则必须进行止水密封作业,传统设备十几吨的质量根本无法直接施工。通常的做法是先在施工线路两侧铺设土工格栅,然后充填通长砂袋,使搅拌桩机骑行在通长砂袋上进行施工。砂袋体厚度不能少于 60 cm,这样施工成本成倍增加,而且具有很高的危险性。由于砂袋表面保持水平较困难,因此设备底盘难以保持水平,导致成桩垂直度不高,密封效果也不理想。

由此看出,面对这一难题传统处理方法都需要投入较高的成本,并且存在诸多缺陷。故提出行之有效、节约成本的新处理措施十分重要。

3 改装地质钻机进行密封作业

地质钻机在钻探施工作业时,其钻杆在自身旋转的同时可实现向下掘进,并配有浆泵向钻头泵送泥浆,与泥浆搅拌桩作业方式基本一致。因此,地质钻机具有施工搅拌桩的能力,只需加工专用桩头即可。由于地质钻机的质量远小于传统的搅拌桩设备,其改装后可解决真空预压超软弱土下卧透水层真空密封难题。

江南探矿机械厂生产的 XY-1B 型立轴回转钻机广泛应用于我国水利、交通基建勘察作业中,是一

种低速大转矩钻机,具有质量轻、操作灵活、维修方便等优点。该钻机在广州中船龙穴造船基地某软基处理工程中承担了钻孔取土、搅拌桩深度确定等工作,使用柴油发动机驱动,主要技术参数如下^[9]:含钻架等总质量为 880 kg,钻杆直径分别为 42 mm 和 50 mm,柴油机额定功率为 12.5 kW,立轴行程为 50 cm,立轴移动速度为 1.0~4.2 m/min,最大给进力为 18 kN,最大提升力为 22 kN,转速为 66~620 r/min,最大扭矩为 1.8 kN·m。

3.1 专用桩头加工

为了使所选立轴回转钻机能够进行搅拌桩施工作业,需加工适应钻杆接口的专用桩头。考虑钻机输出转矩及整机稳定性等问题,桩头直径不宜过大;材料采用普通钢板,其焊接强度、耐久性能满足粉砂、泥混砂等作业环境要求,且造价低廉。综合以上,桩头直径按 50 cm 设计,材料选用 30 mm 厚的 Q235 钢板进行加工,桩头底端留有喷浆口。为防止桩头在挤密砂层中卡死,在搅叶外边缘位置处特别增加了钢护环,如图 1 所示。材料、加工、转接口等专用桩头成本合计不足 3 000 元。

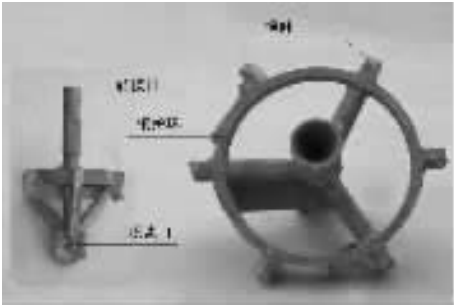


图 1 加工桩头结构

3.2 桩位定位底盘加工

由于钻机没有行走装置,因此施工搅拌桩定位困难,为此特加工一简易桩位定位底盘,以保证桩位定位准确。底盘主要由底座、横向桁架、纵向桁架组成,底座与桁架之间设有导轨、滑轮,可使最上部桁架相对于底座进行前后、左右滑动,且层与层之间设有通孔,可用螺栓固定各桁架相对平面位置,从而起到桩位定位的作用,其结构如图 2 所示。底盘选用普通碳素钢结构,加上主机、钻架等整机质量约 1 t,

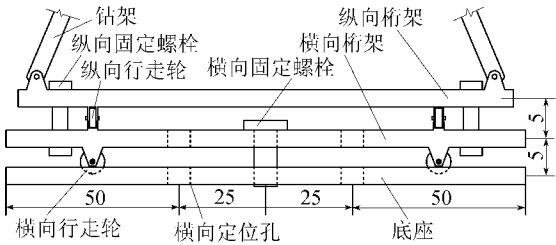


图 2 桩位定位底盘结构示意图(单位:cm)

定位底盘成本不足 1000 元。

3.3 作业安全保证、墙体工艺设计

保证钻机在“淤泥包”位置施工安全以及控制桩垂直度是钻机施工的难点。选取该工程 6~9 区段某处拱淤带作为施工试验段。拱淤带长约 10 m，钻孔取土表明在 4 m 深度处存在约 1 m 厚的透水夹砂层。

为保证钻机施工安全，首先在施工线路两侧砌筑 2 条高 40 cm、宽 1.5 m 的砂包袋垫层路，并找平顶面以减小成桩垂直度偏差；在小砂包袋垫层上再铺 1 排直径 10 cm 的圆松木条，除减小设备接地压强（约 4 kPa）并保持底盘水平外，圆松木条相对滑动可使钻机沿作业方向移动。在底盘行走钢丝绳上标明桩心间距刻度，施工完每一单元后按刻度移位。作业示意图见图 3。

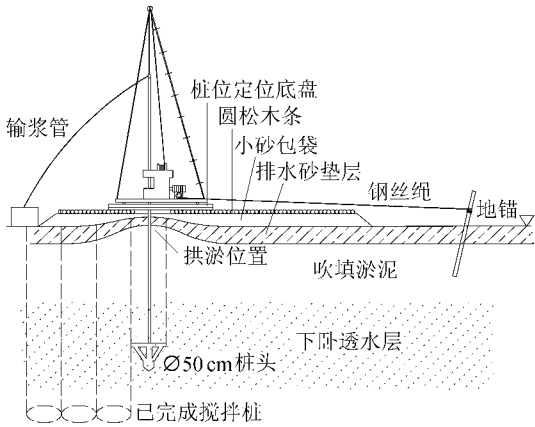


图 3 钻机式深层搅拌机施工作业示意图

回转器移动速度全程设定在 1.0 m/min 档，钻杆钻速设定在最低档，以获得最大转矩。根据工程 6-9 区段试打工艺桩的质量情况，单桩成桩质量好、桩位清晰，但由于在拱淤位置钻机底盘保持水平较困难，所以成桩垂直度不理想。为此，在后续施工过程中采用了加密打设桩间距的办法来消除垂直度偏差。与传统工艺相比，两桩搭接达到了 25 cm，桩心间距缩小至 25 cm，且采用 3 排桩工艺来保证密封墙体宽度。桩位尺寸及搭接情况如图 4 所示。在透水层深度范围内可高于四喷四搅标准施工，以提高泥

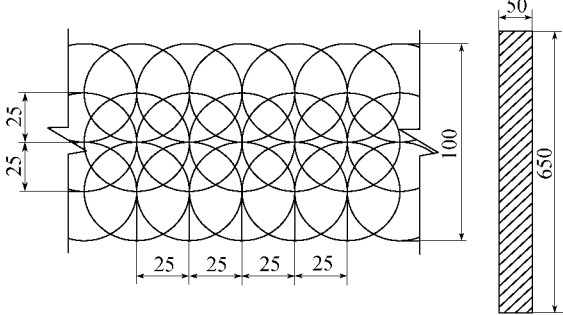


图 4 钻机施工搅拌桩工艺尺寸(单位:cm)

浆置换率，从而提高密封效果。

3.4 施工控制

该钻机回转器卡盘上配有球卡式夹持机构，可以实现不停车倒钻上提，且可以采用转矩更大的六方主动钻杆。其作业流程为：①钻机定位，安装好桩头，连接好泥浆泵。回转器卡盘固定好钻杆后以液压泵驱动钻杆匀速下钻，同时开始喷浆。②下钻到立轴行程底部时倒档，以同样的速度旋转、喷浆、提升。提升到立轴行程顶部时再下钻至底部，即在同一立轴行程范围内先实现“下旋转喷浆—上旋转喷浆—下旋转喷浆”的三喷三搅过程。③打开回转器，液压卡盘上升，重新夹持钻杆后进行下一立轴行程深度的三喷三搅，待施工至设计深度时，最后上提钻杆过程中再实现一喷一搅，从而达到每根桩全过程的四喷四搅工艺。④拔出定位底盘上的螺栓，重新定位后再固定好螺栓，进行下一根桩的施工。当打设深度超过 1 节钻杆长度时，可接长钻杆继续施工。

慢速打设及准确定桩位是成桩质量优良的关键，因此对作业人员要求较高，泥浆质量等其他要求同传统施工要求。

4 密封效果、工效及成本对比

4.1 密封效果

施工 5 d 后对钻机施工搅拌桩进行质量检查：用插竹竿法对桩的搭接情况进行检查，所得结果良好；再对透水层位置进行钻孔取芯，室内土工试验结果表明，掺合土体含泥质量分数（ $d \leq 0.075 \text{ mm}$ ）在 39.2%~44.6% 之间，横向渗透系数 K_h 在 $3.46 \times 10^{-7} \sim 7.82 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 之间，与表 1 中的数据相比有明显降低，达到了 $K_h < 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 的设计要求。

传统的搅拌桩直径为 70 cm，桩间搭接 20 cm，桩密度为 4 根/m；而由钻机施工的搅拌桩直径为 50 cm，桩间搭接 25 cm，桩密度为 12 根/m，其桩密度是传统桩密度的 3 倍。因此，其墙体黏土置换率有了大幅度提高，因而密封效果更优。

经过真空预压 90 d 的实测数据显示，膜下真空度一直稳定在 85 kPa 左右，表明由钻机施工的黏土密封墙质量完全满足加固区真空密闭的要求，故推广应用在该工程 6-3 和 6-4 区段出现相同工况的施工部位，成功解决了挤淤、拱淤部位下卧层止水密封的难题。

4.2 施工效率

钻杆的钻进、提升靠回转器立轴来完成，且每次只能钻进、提升 1 个立轴行程^[10]，故其单机施工效率低于传统施工设备的效率。以桩长 6 m 为例，钻机采用四喷四搅工艺完成 1 根桩所需的时间为

表 2 钻机施工方案与冲灌砂袋方案施工成本对比

冲灌砂袋处理方案				钻机施工方案			
项目	数量	单价/元	总价/元	项目	数量	单价/元	总价/元
冲灌砂袋	80 m ³	120	9 600	小袋装砂	20 m ³	60	1 200
土工格栅	240 m ²	13	3 120	圆松木条	30 根	20	600
人 工	15 人	80	1 200	人 工	20 人	80	1 600
搅拌桩	240 m	16	3 840	搅拌桩	720 m	14	10 080
合计			17 760	合计			13 480

40 min ,比传统设备所需时间多 25 min。

以进行 10 m 长超软弱土下卧透水层密封作业为例 ,充填完通长袋之后仅能投入 1 台传统搅拌桩设备进行施工 ,但在同样的工况下 ,由于钻机体积小、质量轻 ,可同时投入 2 台设备进行施工。传统的处理方法储砂、安装砂泵、缝制砂袋等一系列准备工作及作业共需 1 周时间 ,若采用 2 台钻机进行密封作业 ,前期准备及作业时间仅需 5 d 即可完成 ,其综合施工效率较高。

4.3 成本对比

以密封 10m 长的拱淤带为例 ,桩长 6 m 时 ,采用通长袋方案和钻机施工方案的成本对比见表 2。由表 2 可以看出 ,采用钻机方案施工成本较低。

虽然钻机进行黏土密封墙施工时的效率比传统设备低 ,但作为特殊工况下的特殊施工手段而非大面积铺开使用是可行的 ,因为在挤淤、拱淤部位保证下卧透水层的密封效果 ,降低处理成本及保证人员、设备安全是最关键的。

钻机不仅可以进行地质勘察、探摸取土等作业 ,配合专用钻头还可打设泥浆搅拌桩 ,可谓一机多用。除了该工程外 ,在广州港南沙港区软基处理工程、深圳前湾港区软基处理工程中均应用了钻机打设搅拌桩这一特殊的密封手段 ,密封效果良好。该专用桩头及定位底盘加工简单 ,造价低廉 ,可常备使用。

5 结 语

黏土密封墙作为真空预压加固区周边的主要密封手段已应用多年 ,但大面积水力吹填造陆产生的拱淤、挤淤部位下卧透水层密封问题一直未能得到很好的解决。现有的处理方法存在工期长、成本高、密封效果差等缺点 ,因此 ,采用行之有效的密封手段十分重要。

由地质钻机改装而成的深层搅拌机具有质量轻、成桩好等突出优点 ,在处理挤淤、拱淤部位下卧透水层密封问题时具有很大优势。通过广州某软基处理工程的实际应用 ,表明其密封效果好、处理成本低 ,且设备改装简单方便 ,具有较高的推广应用价值。

参考文献：

[1] 姜炎 .真空排水预压法加固软土技术[M]. 北京：人民

交通出版社 ,2001 9-11.

[2] 叶柏荣 .真空预压加固法的发展及工程实践[J].地基处理 ,1995 (3) :1-10.

[3] 邓万福 .真空预压下卧透水层处理方法及监测结果分析[J].中外公路 ,2003 23(5) :100-101.

[4] 刘松玉 ,钱国超 ,章定文 .粉喷桩复合地基理论与工程应用[M].北京：中国建筑工业出版社 ,2006 :182-185.

[5] 胡利文 ,王永平 .南沙港区真空预压处理水力吹填堆场地基施工技术[J].公路交通科技 ,2005 23(4) :44-48.

[6] 广州港湾工程质量检测有限公司 .中船龙穴造船基地海洋工程等区域及民船项目以西区域回填中粗砂和软基处理工程第 I 标段土工试验报告[R].广州：广州港湾工程质量检测有限公司 ,2007.

[7] 胡利文 ,王永平 .真空预压淤泥搅拌墙气密性试验分析与应用技术[J].岩土力学 ,2005 26(3) :427-431.

[8] 李军 ,胡继业 ,邓元广 .大面积吹填陆域真空预压密封墙处理技术的应用[J].水运工程 ,2004(2) :44-48.

[9] 江西省江南探矿机械厂有限责任公司 .“江探”牌 XY-1B 型立轴回转钻机合格证及产品技术规格说明书[Z].南昌：江西省江南探矿机械厂有限责任公司 ,2005.

[10] 王智明 ,马保松 ,索忠伟 ,等 .钻孔与非开挖机械[M].北京：化学工业出版社 ,2006 :114-121.

(收稿日期 2008-10-27 编辑 高建群)

· 简讯 ·

第一届全国高坝安全学术会议
将在河海大学召开

由中国水力发电工程学会水工及水电站建筑物专业委员会主办、河海大学承办的第一届全国高坝安全学术会议将于 2010 年 6 月在河海大学召开。本届高坝安全学术会议的主题是“高拱坝设计、施工和运行中的重大工程技术问题”。会议将就高拱坝坝址地质勘探与试验 ,高拱坝设计与分析 ,施工技术、基础处理 ,高拱坝的安全监测、运行管理等专题 ,结合国内外近年来的发展和研究工作广泛的学术交流。会议网址 :www . hhu . edu . cn / hhunews / shownews . asp ?ID = 5874。

(本刊编辑部供稿)